

# VESIHALLITUKSEN MONISTESARJA

1981:87

KALANVILJELYSTÄ JA KALANVILJELY-  
LAITOKSEN VESITYKSEN SUUNNITTE-  
LUSTA

Martti Naukkarinen



~~VESIHAL-  
LITUKSEN~~

V E S I H A L L I T U K S E N   M O N I S T E S A R J A

1981:87

KALANVILJELYSTÄ JA KALANVILJELY-  
LAITOKSEN VESITYKSEN SUUNNITTE-  
LUSTA

Martti Naukkarinen



Vesihallitus  
Vesistöosasto  
Helsinki 1981





# SISÄLLYSLUETTELO

Sivu

1.1	KALANVILJELY	1
1.1	Yleistä	1
1.2	Valtion kalanviljelytoiminta	3
1.3	Yksityinen kalanviljelytoiminta	4
1.4	Tärkeimmät viljely- ja kasvatuslajit	5
2.	VILJELYTEKNIikka	6
2.1	Yleistä	6
2.2	Haudonta	6
2.3	Poikaskasvatus	15
2.4	Emokalakasvatus	19
2.5	Kasvatus ravinnoksi	22
3.	KALANVILJELYSSÄ KÄYTETTÄVÄN VEDEN LAATU JA TARVE	25
3.1	Veden laatu	25
3.2	Veden tarve	29
4.	VESITYKSEN SUUNNITTELUN PERIAATTEITA	34
4.1	Veden hankinta	35
4.2	Putouskorkeus	37
4.3	Toimintavarmuus	38
4.4	Molekyyllisen typen ylikyllästymisen	39
4.5	Vedenotto ja johtaminen laitokselle	42
4.6	Sisäinen vesitys	47
4.61	Jakelu	47
4.62	Poisto	50
4.7	Veden käsittely	52
4.71	Ilmastus	52
4.72	Suodatus	56
4.73	Lämpötilan säätäminen	58

4.8	Vesitysesimerkkejä	60
4.81	Sarmijärven kalanviljelylaitos	60
4.82	Guttorpin kalanviljelylaitos	65
4.83	Nilakkalohi Oy:n kalanviljelylaitos	67
5.	VESITYKSEN HYDRAULISET PERUSTEET	69
5.1	Bernoullin energiayhtälö	69
5.2	Putkivirtaus	71
5.21	Kitkahäviöt	71
5.22	Paikallishäviöt	73
5.3	Avouomavirtaus	84
5.31	Tasainen virtaus avouomissa	84
5.32	Epätasainen virtaus	86
5.33	Paikallishäviöt	88
5.4	Padot	90
6.	VESIMÄÄRIEN MITTAUS	92
6.1	Yleistä	92
6.2	Mittapadot	93
6.3	Venturikanavat	95
6.4	Venturiputki	97
6.5	Säätöpato mittauslaitteena	100
6.6	Muita mittausmenetelmiä	100
6.7	Tulostus	101
7.	KALANVILJELYLAITOKSEN AIHEUTTAMA VESISTÖ- KUORMITUS	101
7.1	Yleistä	101
7.2	Kuormituksen syntyminen ja suuruus	101
7.3	Kuormituksesta aiheutuvat haitat	105
8.	TOIMENPITEET JA NIIDEN SUUNNITTELU KUORMITUK- SEN VÄHENTÄMISEKSI	106
8.1	Käsitteet	106
8.2	Rehu ja sen hyväksikäyttö	106
8.3	Kiintoaineen talteenotto	108
8.31	Yleistä	108

8.32	Lietteen kerääminen kasvatusaltaasta	108
8.33	Itsepuhdistuvat altaat	110
8.34	Pyörreselkeytys	112
8.35	Pyörreselkeyttimen mitoitus	112
8.36	Selkeyttäminen laskeutusaltaassa	115
8.37	Lietteen jatkokäsittely	116
8.4	Yhteenveto kuormitusongelman teknillisistä ratkaisuvaihtoehdoista	116

Lyhennelmä

Kirjallisuusluettelo



## 1. KALANVILJELY

### 1.1 Yleistä

Kalanviljely ja kalankasvatus ruokakalaksi on viime vuosina laajentunut huomattavasti. Lukuisat kalanviljelyyn soveltuvat sisävetemme ja meren rannikkoalueet mahdollistavat toiminnan huomattavan kasvamisen nykytilanteeseen verrattuna. Ruokakalantuotannon lisäksi on kalanviljelyllä tärkeä sija vesiemme kalantuotannon ylläpitämisessä ja lisäämisessä.

Kalanviljelyllä ja -kasvatuksella on maassamme seuraavia tehtäviä:

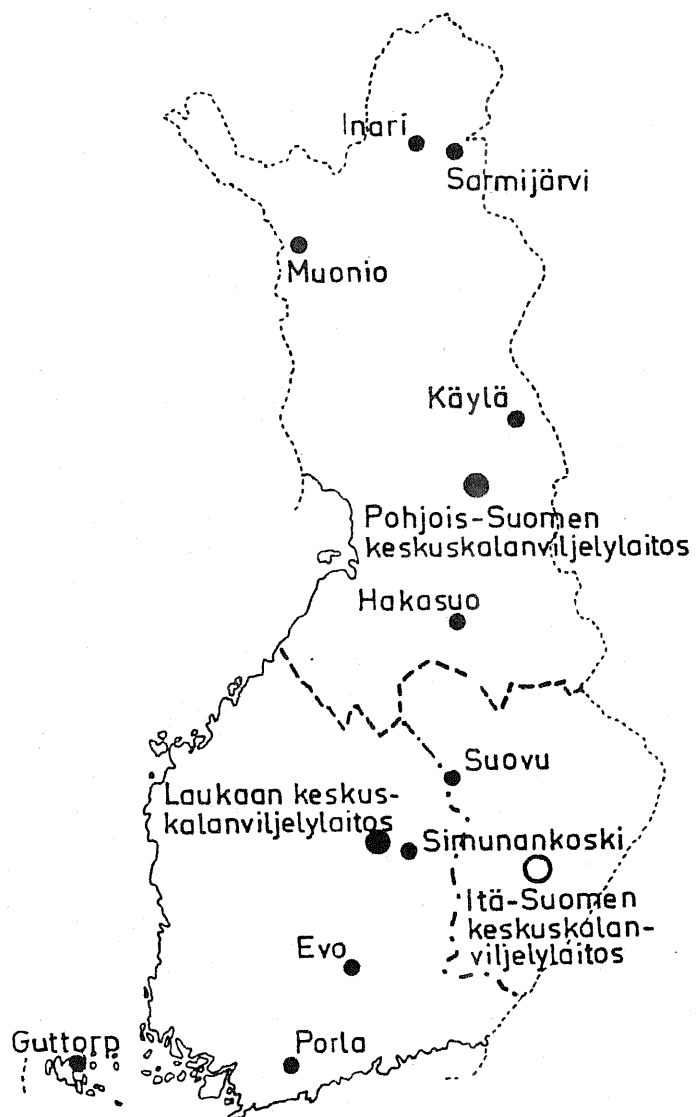
- tuottaa mätiiä ja istutuspoikasia kalakantojen säilyttämiseksi ja lisäämiseksi,
- tuottaa mätiiä ja istutuspoikasia tutkimus- ja koetointia varten,
- tuottaa uusien, oloihimme soveltuvien kalalajien mätiiä ja poikasia,
- kasvattaa emokaloja mädintuotantoa varten,
- suorittaa rodunjalostusta,
- tuottaa mätiiä ja poikasia teuraskalatuotantoa varten,
- kasvattaa teuraskalaa.

Maassamme oli Kalatalouden Keskusliiton vuonna 1979 julkaiseman luettelon mukaan 164 kalanviljelylaitosta, jotka jakautuvat seuraavasti:

- valtion laitokset	11
- velvoitelaitokset	6
- järjestöjen ja yhteisöjen laitokset	16
- yksityiset laitokset	134

Valtion ja velvoitelaitosten voidaan katsoa toimivan kokonaan yleishyödylliseltä pohjalta. Yhteisöjen ja järjestöjen omistamat toimivat osittain kaupallisesti ja osittain valtion varoin. Yksityiset tuottavat yleensä ruokakalaa sekä harjoittavat jossain määrin myös kalanpoikasten jatkokasvatusta hoito-





Kuva 1. Valtion kalanviljelylaitokset. Kuvaan on merkitty suunniteltu Itä-Suomen keskuskalanviljelylaitos sekä keskuskalanviljelylaitosten hoitoalueiden rajat.

sopimusten perusteella esimerkiksi velvoiteistutuksia varten.

## 1.2 Valtion kalanviljelytoiminta

Valtion kalanviljelytoiminta sai alkunsa kun kalastustentarkastaja Oscar Nordqvist teki vuonna 1890 aloitteen Evon kalastuskoeaseman perustamisesta. Keisarillinen Suomen Senaatti teki myönteisen päätöksen lokakuun 11 p:nä 1892 ja suunnitelman toteuttamiseen ryhdyttiin viivyttelemättä.

Valtion kalanviljelytoiminnan laajentuminen alkoi 1960-luvulla, jolloin ryhdyttiin suunnittelemaan valtion kalanviljelylaitoksia. Tämän hetken näkymien mukaan rakentaminen jatkuu ainakin koko 1980-luvun.

Valtion kalanviljelytoiminnan hoito on kuulunut vuodesta 1971 Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitokselle. Tarkoitusta varten tutkimuslaitoksella on Laukaan ja Pohjois-Suomen keskuskalanviljelylaitokset, Inarin, Käylän, Muonion ja Suovun kalanviljelylaitokset sekä Evon kalastuskoeasema ja kalanviljelylaitos. Vesihallitukselle kuuluvan Inarinjärven hoitovelvoitteen toteuttamiseksi on juuri valmistunut laitos Sarmijärvelle Inariin. Näiden lisäksi tutkimuslaitos on vuokrannut käyttöönsä Porlan ja Simunankosken kalanviljelylaitokset. Kuvassa 1 on esitetty valtion kalanviljelylaitosten sijainti. Kuvassa oleva Guttorpin kalanviljelylaitos on Ahvenanmaan maakuntahallituksen rakentama ja sen hallinnassa.

Valtion kalanviljelytoimintaa varten oli vuonna 1978 käytössä 161 luonnonravintolammikkoa, joiden yhteinen pinta-ala on 2 649 ha.

Valtion kalanviljelylaitosten tuotantokapasiteetit on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Valtion kalanviljelylaitosten vuotuiset tuotantokapasiteetit v. 1980

Laitos	Lohi, taimen, nieriä			Siika
	Mätimunua kpl/a	1-vuotiaat <sub>1)</sub> kpl/a	2-3 vuotiaat kpl/a	Mätiä <sub>2)</sub> l/a
P-Suomi	8,0 milj.	-	50 000	500
Laukaa	4,0 milj.	-	100 000	450
Inari	-	250 000	250 000	150
Muonio	1,4 milj.	250 000	300 000	200
Käylä	-	222 000	-	100
Suovu	0,15 milj.	30 000	-	100
Guttorp	0,15 milj.	-	-	100
Yhteensä	13,7 milj.	500 000	850 000	1 600

1) Lukuarvot ilmaisevat laitoksilta vuosittain sekä istutuksiin että jatkokasvatukseen muualle menevän poikasmäärän. Lisäksi laitoksilla on 1-vuotiaita poikasia noin 1,5 x taulukossa ilmoitettu 2 - 3 vuotiaiden määrä.

2) Yhdessä litrassa mätiä on keskimäärin 55 000 plankton- ja vaellussiian mätimunaa.

### 1.3 Yksityinen kalankasvatustoiminta

Kirjolohen kaupallinen kasvatus on laajentunut nopeasti viime vuosina. Kirjolohta tuotettiin vuosijaksolla 1975-79 seuraavat määrät /15/:

<u>1975</u>	<u>1976</u>	<u>1977</u>	<u>1978</u>	<u>1979</u>	<u>1980</u>
2,3	2,6	2,9	3,2	3,7	4,0 milj.kg/vuosi

Vuoden 1978 kokonaistuotannosta kasvatettiin sisävesissä 2,4 milj. kg ja merialueella 0,8 milj. kg.

Suomen kokonaiskalansaalis oli vuonna 1977 116 milj.kg. Sen

arvo oli 226 milj.mk, josta ammattikalastuksen osuus oli noin puolet (Kalatalouden tavoitekomiteanmietintö 1979). Vuoden 1979 kirjolohentuotannon arvo vuoden 1977 hintatasossa oli tuottajahinnan mukaan noin 55 milj.mk, joten se kattaa kaikes- ta ammattimaisesta kalantuotannosta kolmanneksen markkamääräi- sesti laskien. Sisävesialueella kirjolohi on selvästi tärkein talouskala.

#### 1.4 Tärkeimmät viljely- ja kasvatustulokset

Viljely ja kalankasvatus on tarkoituksenmukaista vain rajoite- tulle joukolla kalalajeja. Ihanteellisen viljely- ja kasvatus- kalan ominaisuuksia voisivat olla esimerkiksi seuraavat:

- 1) Sopeutuvaisuus seudun ilmastosta johtuviin erityis- olosuhteisiin sekä veden laadullisiin vaihteluihin
- 2) Kasvu suhteellisen nopeaa
- 3) Lisääntyminen onnistuu laitosolosuhteissa
- 4) Keinoruokinta mahdollista
- 5) Viljeltävällä kalalla on kysyntää
- 6) Sopeutuu suureen tiheyteen lammikossa
- 7) Vastustuskykyinen kalatauteja kohtaan.

Useimmat meillä viljeltävät lajit eivät täytä kaikkia näitä vaatimuksia. Kirjolohta voinee kuitenkin pitää lähes ihan- teellisena lajina oloissamme.

Tärkeimmät viljelykalat maassamme ovat lohi, kirjolohi, taimen ja siika. Muita viljeltyjä lajeja ovat nieriä, harjus, hauki ja kuha.

Näistä hauki, kuha ja harjus kutevat keväällä jäiden lähdettyä, kirjolohi kevättalvella ja lohi, nieriä, taimen ja siika syys- joulukuussa.

## 2. VILJELYTEKNIikka

### 2.1 Yleistä

Viljeltävät kalalajit jaetaan lämpimien ja kylmien vesien kaloihin siten, että lämpimien vesien kaloilla tulee kesäaikainen veden lämpötila olla yli 20°C ja kylmien vesien kaloilla sen alle. Suomessa viljeltyt lajit kuuluvat jälkimmäiseen ryhmään.

Lämpimän veden lajien (mm. karppien) kasvatus tapahtuu yleensä matalissa, heikosti virtaavissa lammikoissa, jopa riisiviljelmissä. Kylmän veden kalat esim. lohikalat tarvitsevat suhteellisen paljon vettä ja vastaavasti lammikkoon syvyyttä niin paljon, ettei veden lämpötila lämpiminä aikoina nouse haitalliseksi. Viljelymenetelmät vaihtelevat maassamme lajikohtaisesti. Lohen vaelluskokoinen poikanen tuotetaan yleensä kalanviljelylaitoksella, kun taas siian kasvatus istutuskokoon suoritetaan vain haudonnan osalta laitoksella ja sen jälkeen luonnonravintolammikossa.

### 2.2 Haudonta

Hedelmöitetty mätä haudotaan kalanviljelylaitoksella poikasiksi virtaavassa, riittävän happipitoisessa ja mahdollisimman puhtaassa vedessä.

Haudonnan edistymistä voidaan seurata vaiheittain (kuva 2). Ensimmäinen vaihe käsittää ajan hedelmöityksestä silmien ilmestymiseen mätimunaan. Tällöin mädin sanotaan olevan silmäpisteasteella. Toinen vaihe kestää silmäpisteasteelta poikasten kuoriutumiseen ja kolmas ajan, jossa poikanen käyttää alkuvintonaan olevan ruskuaispussin loppuun ja alkaa liikkua omin voimin.

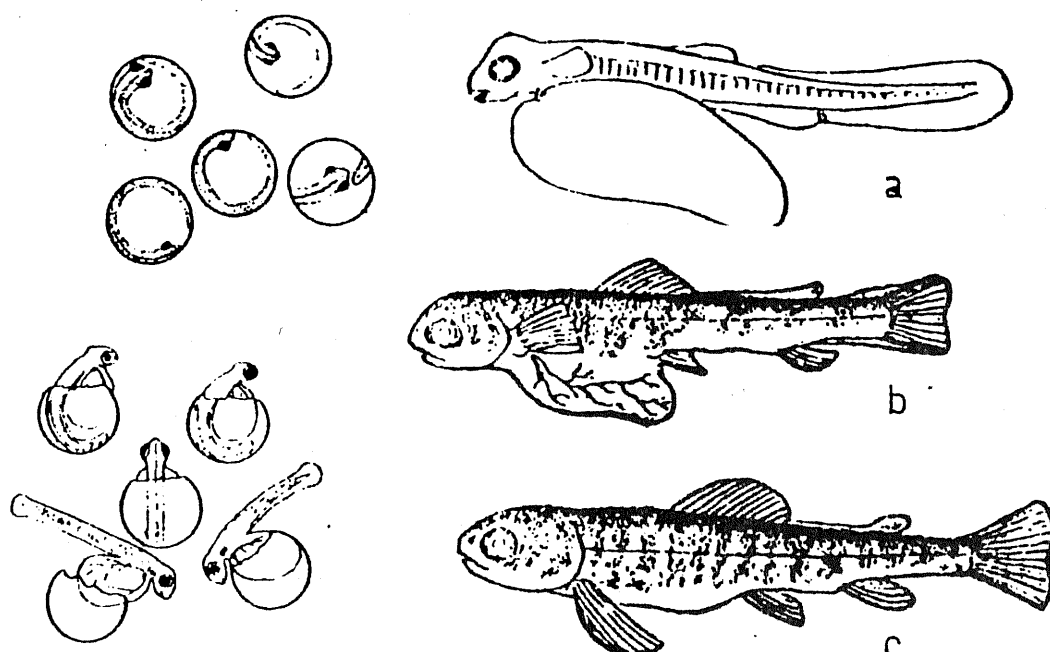
Mätä joko siirretään kuoriutumista varten poikasaltaisiin, joissa niiden alkukasvatus tapahtuu tai annetaan kuoriutua asettimilla ja poikaset pidetään haudontakaukaloissa, joista on pois-



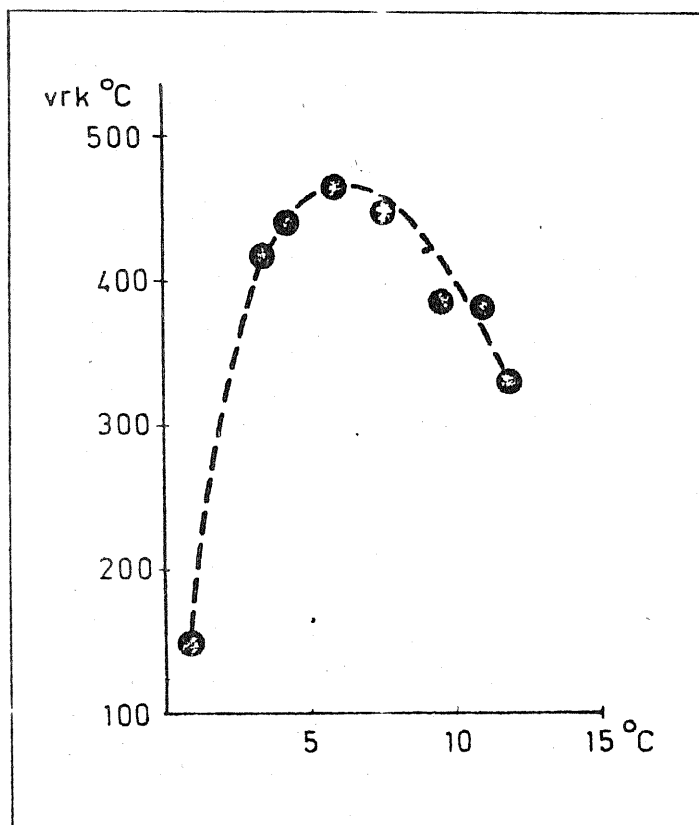
tettu mätiasettimet siihen saakka, kunnes ne ovat oppineet ottamaan ravintoa ja kestävät häiriintymättä siirtämisen.

Haudonta-aika ja vaiheet lasketaan ns. vuorokausiasteina eli haudonnan aikana vuorokausittain mitattujen haudontaveden lämpötilojen summana. Lämpötilakertymää tarkkailemalla voidaan ennakoida odotettavissa olevat tapahtumat mädin kehityksessä ja varautua niihin. Haudonta-ajan pituutta on siis mahdollista säädellä muuttamalla veden lämpötilaa.

Vuorokausiasteina laskettu haudonta-aika riippuu veden lämpötilasta, jonka takia eri laitoksilla saadaan erilaisia vuorokausiastesummia. Taimenelle riippuvuus on kuvan 3 mukainen /5/, /24/.

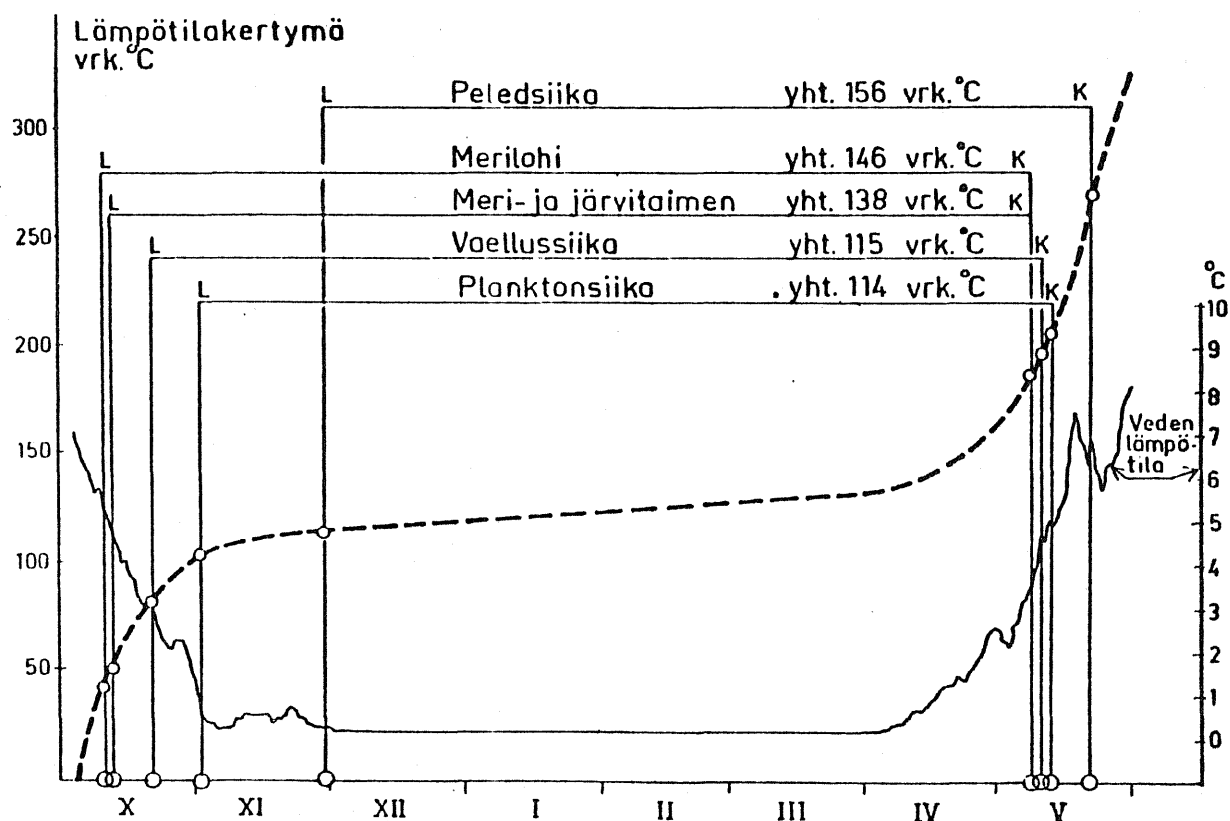


Kuva 2. Kehitysvaiheet haudonnan aikana. Vasemmalla silmäpisteaste ja kuoriutuminen. Oikealla poikasen kehitys a) kuoriutunut b) ruskuaispussivaihe c) uiva poikanen /9/.



Kuva 3. Lämpötilasumman riippuvuus haudontaveden lämpötilasta taimenen haudonnassa hedelmöityksestä kuoriutumiseen.

Kuvassa 4 on esitetty Montan kalanviljelylaitoksen haudontajan vedenlämpö ja lämpötilakertymä. Kuvaan on merkitty eri kalalajien haudonnan kesto ja vuorokausiastesumma.



Kuva 4. Haudonnan kulku Montan kalanviljelylaitoksella Oulujoella haudontakaudella 1979 - 1980.

L = lypsy, K = kuoriutuminen.

Mätiä voidaan käsitellä joitakin päiviä hedelmöityksen jälkeen aiheuttamatta vaurioita. Tämän jälkeen seuraa vaihe, jolloin sen on annettava olla täysin rauhassa, kunnes silmäpisteaste on saavutettu. Nyt voidaan poistaa kuolleet, valkeiksi muuttuneet mätimunat ja vaikkapa siirtää mäti toiseen laitokseen.

#### Hautomo

Hautomossa tulee olla riittävästi tilaa, jotta työskentely voidaan suorittaa joutuisasti ja siististi. Valaistuksen tulee olla hyvä mutta suoran auringonvalon osuminen mätimuniin tulee estää. Mikäli hautomossa on ikkunat, niiden oikea sijoituspaikka on pohjoisen puolella ja ne varustetaan kaihtimin.

Hautomo on useimmiten erotettu muusta kasvatustilasta, Hautomossa työskennellään säännöllisesti asetettaessa hedelmöitetty mäti haudontalaitteisiin sekä sen jälkeen kun mäti on tullut silmäpisteasteelle. Työskentelyolosuhteiden kannalta on hal-  
lin lämpötilan tällöin oltava 10 - 15°C.

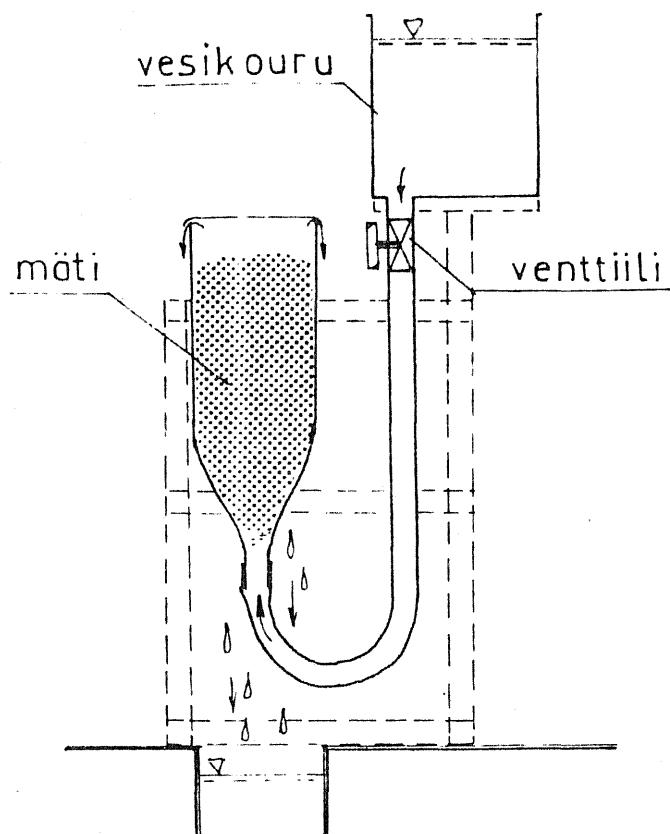
Hautomotilan kosteuden vuoksi tulee ilmastoinnin olla riittä-  
vän tehokas mutta mahdollisuuksien mukaan vedoton. Pysyvissä  
rakenteissa vältetään puun sekä korroosioherkkien materiaalien  
käyttöä. Lattiassa tulee olla viettoa noin 1 cm/1 m, jotta  
roiskevedet valuvat nopeasti pois. Varsinaisissa työskentely-  
kohteissa esimerkiksi haudontakaukaloiden välissä voidaan lat-  
tialla pitää puuritilöitä suojaamassa jalvoja kylmältä ja  
kostealta betonilattialta.

#### Haudontasuppilot

Siian mädin haudonnassa on käyttöön vakiintunut suppilo, johon  
vesi johdetaan alhaalta ja se poistuu reunan yli (kuva 5).  
Laitteistoon kuuluu tavallisesti vedenpaineen tasauskouru,  
puristumaton letku sekä virtauksen säätö- ja sulkulaite. Pois-  
topuolella haudontavesi putoaa suppilosta alla olevaan altaa-  
seen, johon kuoret jäävät. Poikaset johdetaan edelleen keräi-  
lyaltaaseen. Mäti voidaan myös siirtää ennen kuoriutumista  
kuoriutumisalustoille altaisiin.

Suppilon materiaali voi olla lasia, muovia tai metallia. Lä-  
pinäkyvät materiaalit ovat käytössä parempia, koska tällöin  
pystytään tarkkailemaan tapahtumia haudonnan aikana, sekä voi-  
daan varmistua siitä, että johdettava vesimäärä on oikean suu-  
ruinen saaden mädin hellävaraiseen liikkeeseen.

Painekorkeutta kourun vesipinnasta suppilon vesipintaan vara-  
taan 0,5 - 1,0 m. Kirjolohen haudonnassa on sovellettu sup-  
pilomenetelmää muovisaaveissa, joihin vesi johdetaan pohjalle  
ritilän alle, josta se kulkee mädin läpi poistuen reunojen yli.  
Mäti siirretään pois saavista silmäpisteasteella ennen kuoriu-  
tumista.



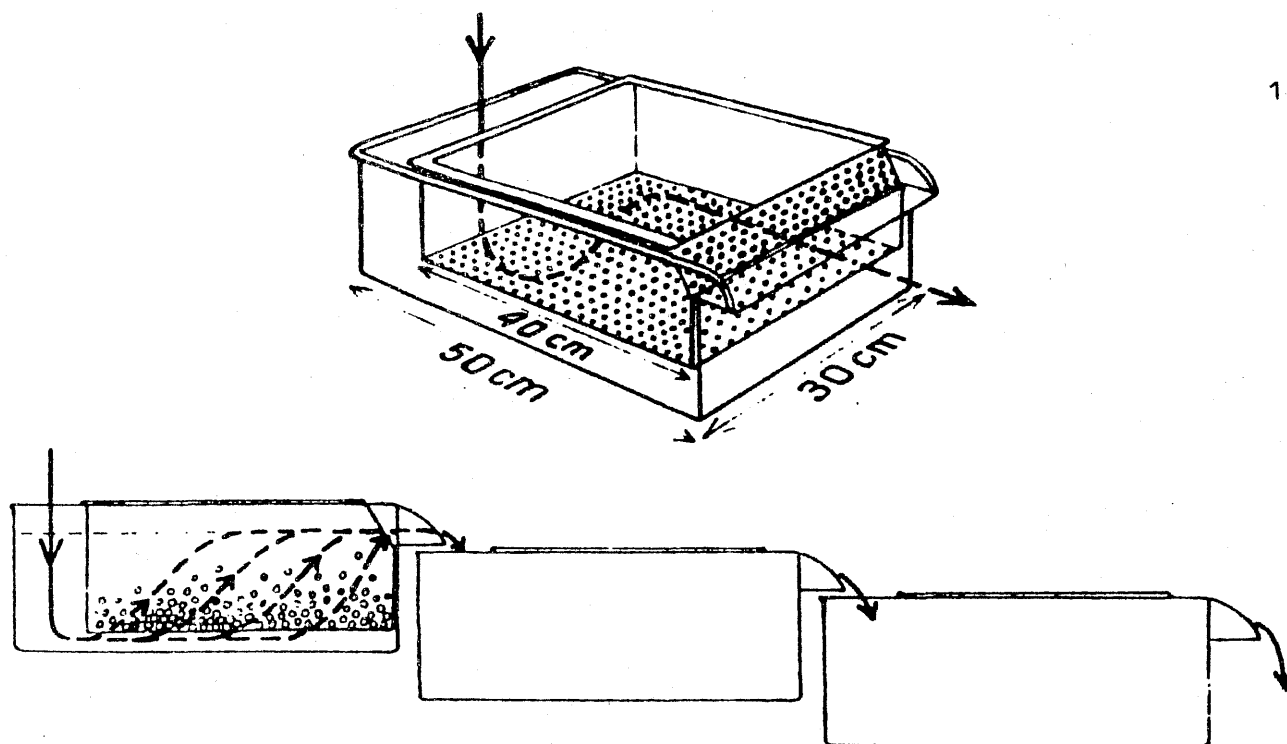
Kuva 5. Haudontasuppilo

Suppilon koon tulee olla sellainen, että siihen haudottavaksi asetettava mätimäärä on normaalisti saatavissa yhdellä kertaa, jotta saman suppilon poikaset kuoriutuisivat mahdollisimman yhtäaikaan. Paljon käytettyjä kokoja ovat 12, 18 ja 25 litran vetoiset suppilot. Mätiä suppiloon sijoitetaan  $\frac{1}{3}$  -  $\frac{2}{3}$  suppilon tilavuudesta.

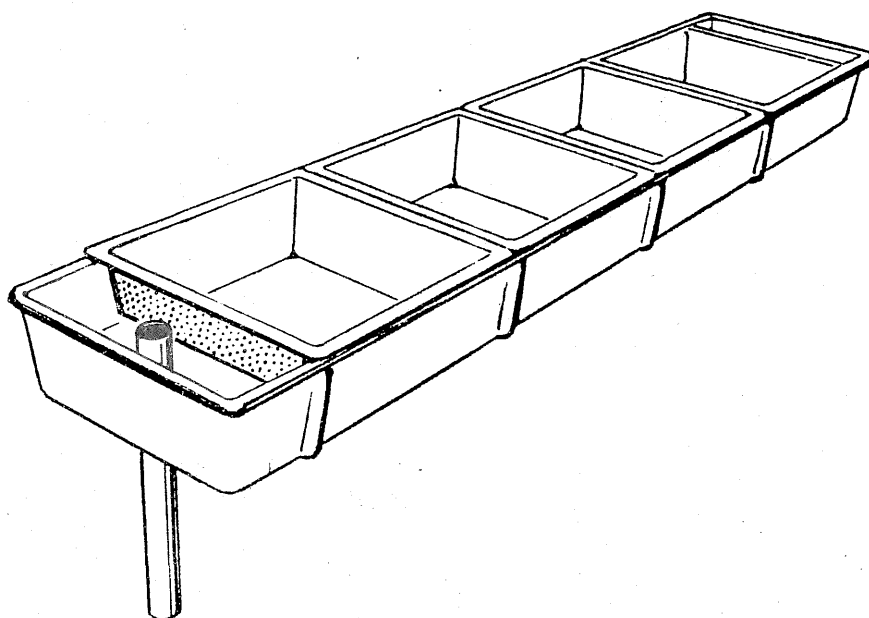
#### Haudontakaukalot

Lohikalojen mäti haudotaan tavallisimmin kaukaloissa. Kaukalon lisäksi laitteistoon kuuluvat mätiasettimet, joiden päälle mäti sijoitetaan. Yhdessä kaukalossa voi olla yksi tai useita asettimia. Kuvassa 6 on ns. Kalifornialainen haudontalaatikko, jossa on vain yksi mätiasetin. Vesi virtaa asettimen pohjan kautta mätimunien lomitse ja poistuu räystään kautta. Laatikoita voidaan asettaa useampia sarjaan.





Kuva 6. Kalifornialainen haudontalaatikko /9/.



Kuva 7. Haudontakaukalo (Ewos-mallisto). Mitat: korkeus 17 cm, leveys 40 cm ja pituus 215 cm tai 360 cm /30/.

Asetettaessa useampia haudontakaukaloita päällekkäin, tulee huolehtia siitä, että kaukalo on vedettävissä esiin telineestä mädinhoitotoimien ajaksi. Näin saadaan työskentely helpommaksi valaistuksen ja työasentojen kannalta.

#### Muut haudontalaitteet .

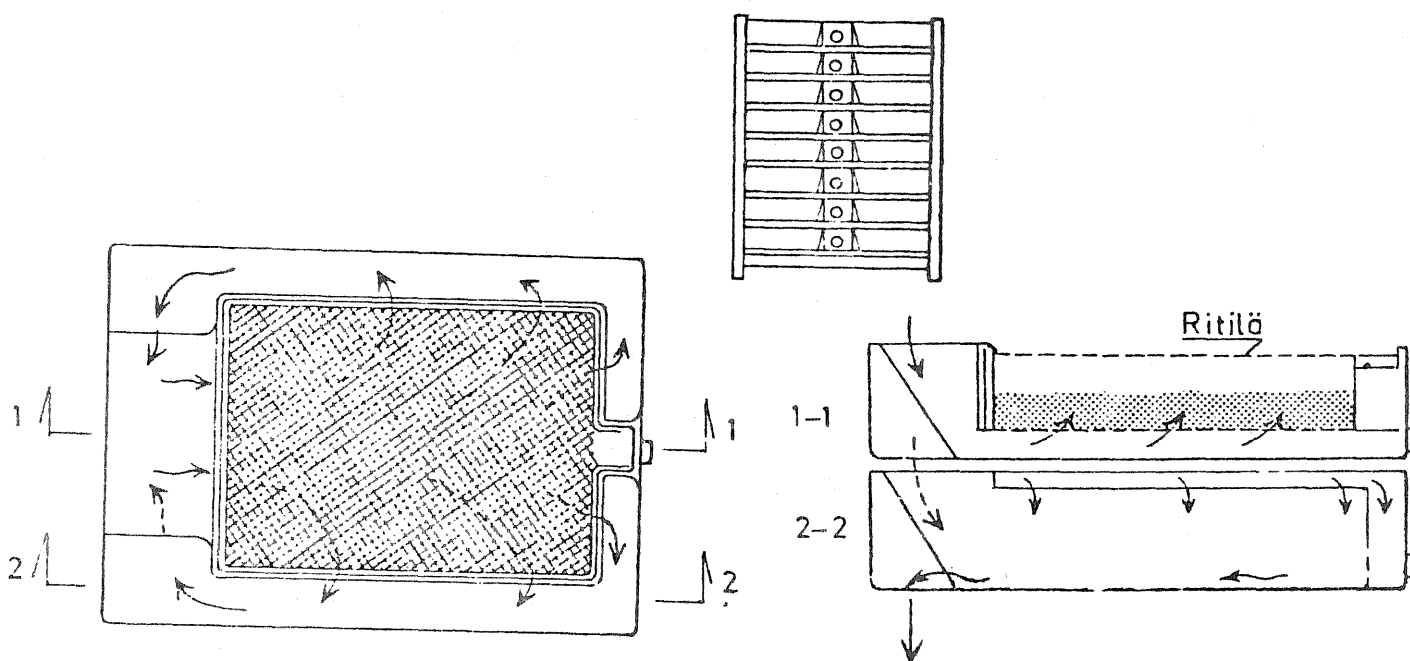
Matalia, kuvassa 8 esitettyjä haudontalaatikoita voidaan asettaa päällekkäin telineeseen laatikkosarjaksi jopa 16 kpl ja näin vähentää hautomon tilantarvetta. Kuoriutumisen jälkeen on poikaset siirrettävä pois laatikoista ennen uivaa vaihetta. Vesi johdetaan laatikon pohjalle, josta se nousee asettimen pohjan lävitse ja poistuu reunojen yli kulkien edelleen sarjassa seuraavana olevan laatikon pohjalle. Kukin laatikko on vedettävissä esiin hyllystä mädin tarkastusta ja hoitoa varten.

Tihkuhaudontaperiaatteella on käytössä kaappeja, joissa vesi tippuu pisaroina päällekkäisten mätiasetinten läpi.

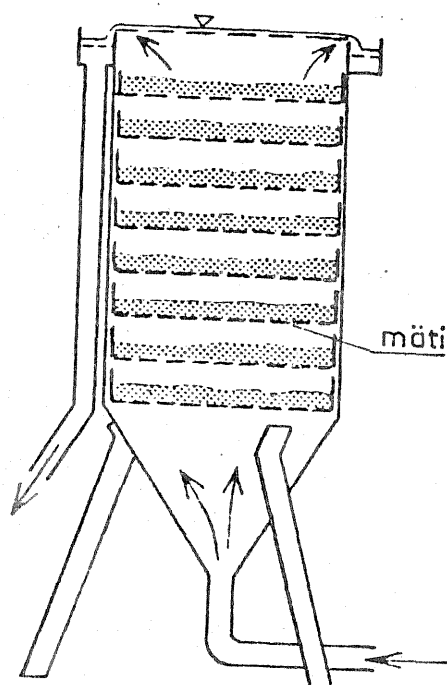
Mädin suurtuotantoon käytetään mm. Norjassa siiloja, joissa mäti on asetettu päällekkäisille koreille ja veden virtaus tapahtuu alhaalta ylöspäin (kuva 9). Näin haudottu mäti poistetaan siiloista silmäpisteasteella ja tavallisesti myydään eteenpäin. Siilon koko voidaan suhteellisen vapaasti valita, mutta on edullista, että asetinkorit eivät tule liian suuriksi ja hankaliksi käsitellä. Mätiä voidaan sijoittaa noin 2/3 siilon tilavuudesta. Kaikista haudontalaitteista siilo vaatii haudottavaa mätimäärää kohden pienimmän lattiapinta-alan. Suomessa on valmistettu kuvassa 10 esitettyjä siiloja, joissa ei ole ollenkaan asettimia. Vedessä mahdollisesti olevat ilmakuplat poistuvat keskellä olevan putken kautta.

Yhdessä tasossa olevia haudontakaukaloita on helpoin hoitaa, koska ne voidaan sijoittaa sopivalle työskentelykorkeudelle eli kaukalon reunan korkeus lattiasta on noin 1,1 m. Mitä useammassa kerroksessa kaukaloita on tai mitä korkeampi on laatikkosarja, sen hankalammaksi hoitaminen käy, koska tarvitaan telineitä tai tikkaita, joilta hoitotoimenpiteet suorite-

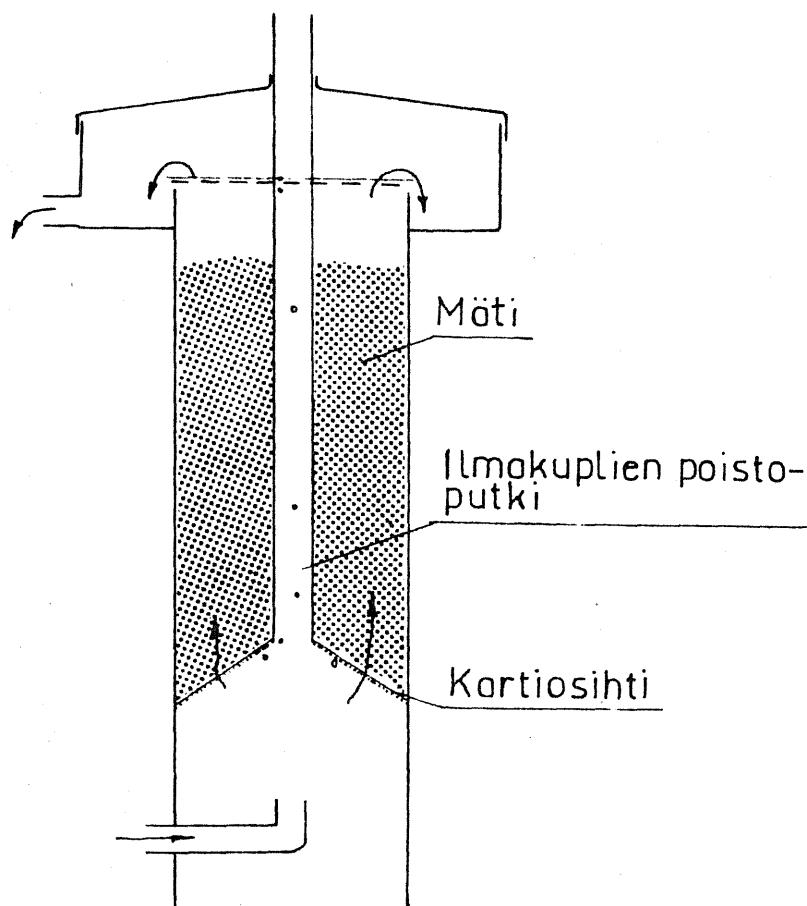
taan. Säästettäessä pinta-alaa menetetään usein työskentely-  
mukavuudessa.



Kuva 8. Haudontalaatikkosarja ja virtausperiaate.



Kuva 9. Haudontasiilo



Kuva 10. Kotimainen haudontasiilo

### 2.3 Poikaskasvatus

Poikasten istutus pyritään ajoittamaan niin, että niillä olisi mahdollisimman hyvät elinmahdollisuudet. Lohen ja taimenen istutuksissa paras tulos on yleensä saavutettu noin 20 cm:n pituisilla vaellusikäisillä poikasilla, minkä vuoksi ne ovat kalanviljelylaitoksilla kaksi- tai kolmivuotiaiksi asti. Siian poikaset siirretään kuoriutumisen jälkeen luonnonravintolammikoihin kasvamaan kesän yli, jolloin niiden pituus on noin 10 cm. Poikaskasvatuksen alkuvaihe on riskialttein. Ensimmäisen kesän aikana tapahtuvat suurimmat kasvatustappiot.

Lohen, taimenen ja nieriän totutusruokintaan käytetään tuore-ruokaa, pääasiassa jauhettua maksaa. Kuivarehuun siirrytään myöhemmin kesällä.

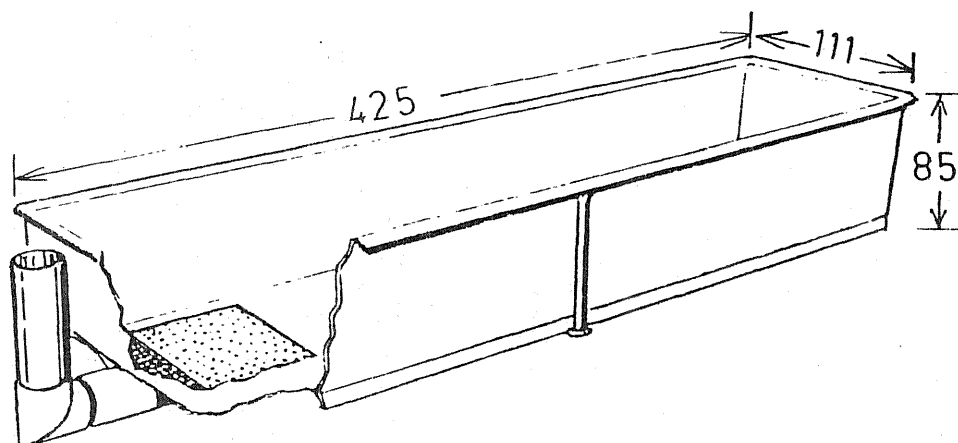
Lohikalojen poikaset kasvatetaan tavallisesti vähintään vuoden vanhoiksi sisätiloissa, jonka jälkeen ne usein siirretään ulkotiiloihin altaisiin tai lammikoihin, joskin käytäntö vaihtelee tapauskohtaisesti.

### Poikashalli

Poikashallille asetettavat vaatimukset noudattelevat hautomorakennuksen vaatimuksia. Hallin valaisimet ja ikkunat tulee sijoittaa niin, että tiloissa liikkuvien varjot eivät osu poikasaltaisiin. Turhaa korkeutta tulee välttää, jotta säästettäisiin lämmityskuluissa. Poikashallin lämpötila voidaan pitää talvisaikaan suhteellisen alhaisena  $+2 - +5^{\circ}\text{C}$ , mutta se on tarvittaessa voitava nostaa noin  $+18^{\circ}\text{C}$ . Poikasten lastauksen helpottamiseksi halliin tulisi päästä sisään kuorma-autolla, mikä edellyttää, että hallin käytävän leveys on noin 3 m.

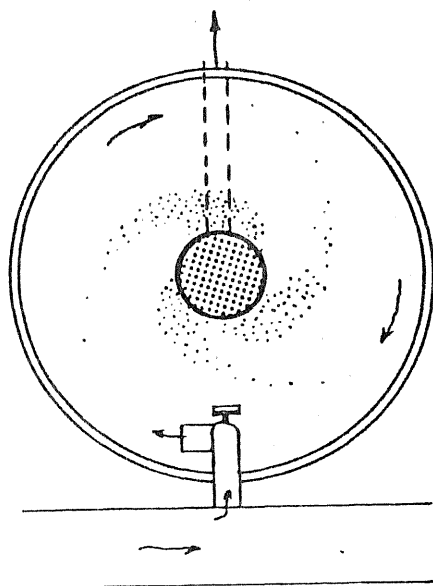
### Poikasaltaat

Lohikalojen poikaset oppivat ottamaan ravintoa joko varsinaisissa poikasaltaissa tai haudontakaukaloissa, joista mätäasettimet on kuoriutumisen tapahduttua poistettu. Poikasaltaat voidaan jakaa niiden muodon perusteella kolmeen päätyyppiin: suorakaiteenmuotoisiin, pyöreisiin ja neliömäisiin (kuvat 11, 12 ja 1 ).



Kuva 11. Suorakaidepoikasallas (Ewos-mallisto) /30/.





Ruokintajäte ja kalojen eritteet ajautuvat pyörrevirtauksen ansiosta keskelle allasta ja poistuvat virtauksen mukana.

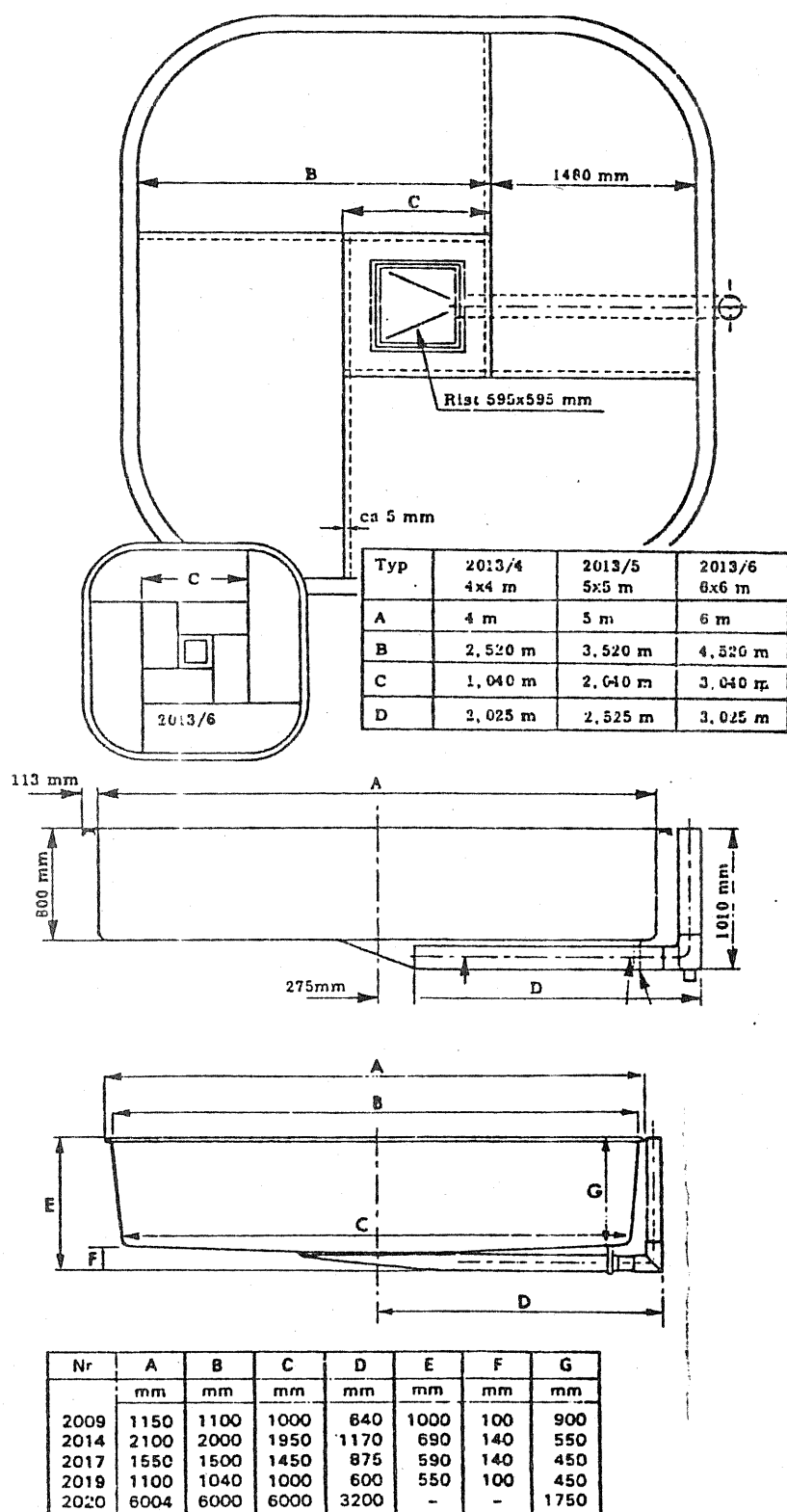
Kuva 12. Pyöreä allas (itsepuhdistuva).

Materiaalina on käytetty vaneria, betonia, teräs- ja alumiinilevyä, lautta sekä lasikuitumuovia. Viimeksi mainittu on helppohoitoisuutensa ja keveytensä vuoksi nykyisin eniten käytetty allasmateriaali. Lasikuituinen allas on jäykistettävä siten, että se säilyttää muotonsa ollessaan vettä täynnä.

Suorakaidealtaissa vesi kulkee päästä päähän poistuen tiheän sihdin lävitse. Neliömäisissä ja pyöreissä altaissa tulovirtaus suunnataan tangentiaalisesti, jotta altaan vesi saadaan kiertoliikkeeseen, jolloin kalat jakautuvat tasaisesti altaan pinta-alalle. Vesi poistuu altaan keskeltä. Virtausnopeus poikasaltaissa on pidettävä sellaisena, ettei poikasia rasiteta eivätkä ne ajaudu sihtiä vasten.

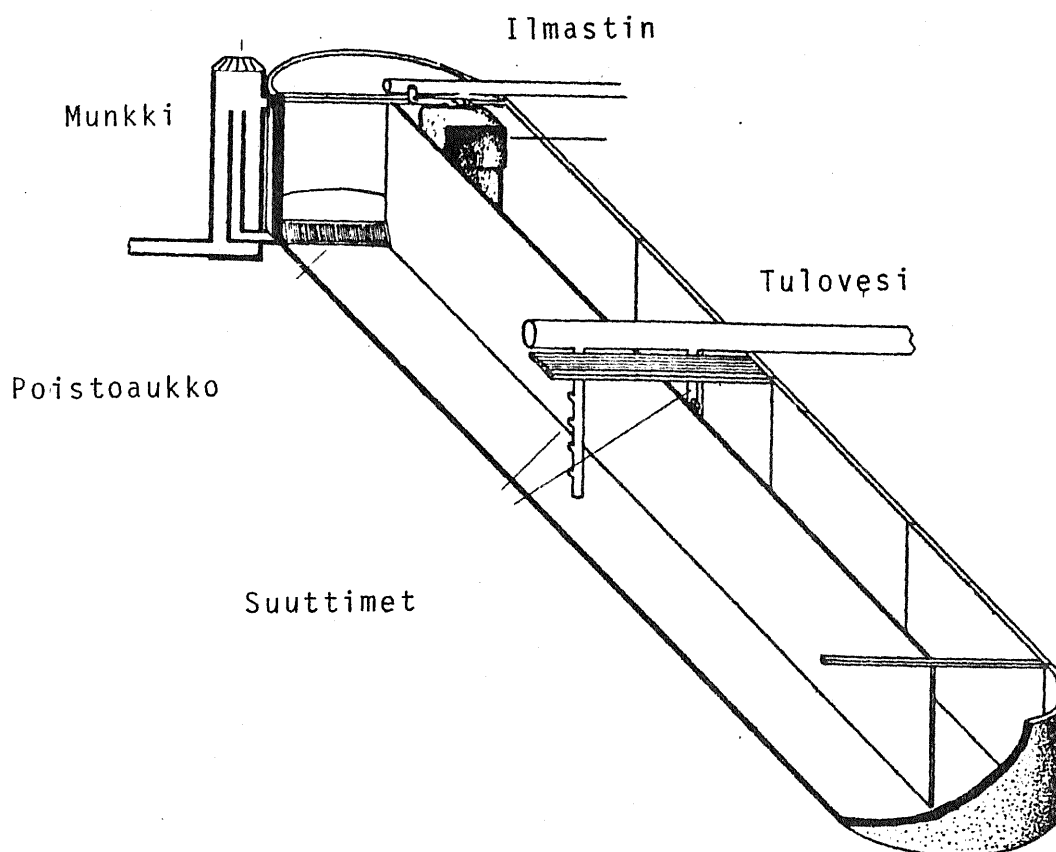
Pyöreät ja neliömäiset altaat ovat itsepuhdistuvia edellyttäen, että niissä syntyy veden kiertoliike ja että vesi poistuu keskeltä altaan pohjaa. Kiertoliikkeen ansiosta ruuan tähteet ja ulosteet keräytyvät keskelle allasta, josta ne poistuvat veden mukana (kuva 12).

Itsepuhdistuvuutta voidaan parantaa muotoilemalla altaan pohja keskelle viettäväksi. (Kaltevuus 1:5 - 1:10 altaan koosta riippuen).



Kuva 13. Vakiomallisten laskikuitualtaiden mitat (Ewos)/30/.

Ulkomailla on käytössä myös eräänlaisia pyöreän ja suorakaiteenmuotoisen altaan yhdistelmiä (kuva 14). Nämä on mahdollista saada itsepuhdistuviksi säätämällä suuttimista tuleva virtaama sellaiseksi, että laskeutunut jäte kulkeutuu pohjaa pitkin altaan levyiseen poistoaukkoon.



Kuva 14. Uusi itsepuhdistuva allastyyppi /33/.

#### 2.4 Emokalakasvatus

Mädin hankinta tapahtuu joko emokalakasvatuksen tai mädinhankintapyynnin avulla. Lohen, taimenen ja nieriän mäti saadaan pääosin kasvatetuista emokaloista. Siian mädistä saadaan suurin osa pyynnillä.

Lohikaloista saadaan mätiä noin 1 500 - 2 000 kpl/kala kg. Nieriällä määrä on suurempi eli 2 000 - 4 000 mätimunaan kilonpainoisessa naaraassa. Sukukypsyyden ne saavuttavat 4 - 7 vuoden ikäisinä, koiraat yleensä nuorempina kuin naaraat. Yhdestä noin puolenkilon painoisesta vaellussiiasta saadaan noin 1,5 dl mätiä, jossa on noin 5 000 - 7 000 mätimunaa. Siian sukukypsyys alkaa aikaisintaan 3 vuoden iässä.

Kutuajan lähestyessä emokalat lajitellaan ensinnäkin sukupuolen mukaan, naaraat mädin kypsyysasteen mukaan sekä erotetaan

yksilöt, jotka ovat martoja. Lohikalojen mädin paras hedelmöittymisaika kestää vain 5 - 6 vuorokautta kypsymisen alusta lukien. Lajittelun aikana yleensä lasketaan lammikon tai altaan vesi niin alas, että pystytään työskentelemään ja jakamaan lammikko osiin esim. verkoilla. Lajitteluun voidaan käyttää myös erityisiä lajittelualtaita.

#### Emokala-altaat

Altaiden minimisyvyytenä oloissamme voidaan pitää noin 1,5 m. Kesäaikana on lammikoiden riittävästä syvyydestä hyötyä varsinkin hellekausina, jolloin kalat voivat hakeutua viileämpään vesikerrokseen. Matalassa altaassa kalat myös säikkyvät helpommin liikettä ja veteen osuvia varjoja. Talvisin on jään alla oltava riittävästi elintilaa. Jäätyminen voidaan estää kattamalla allas.

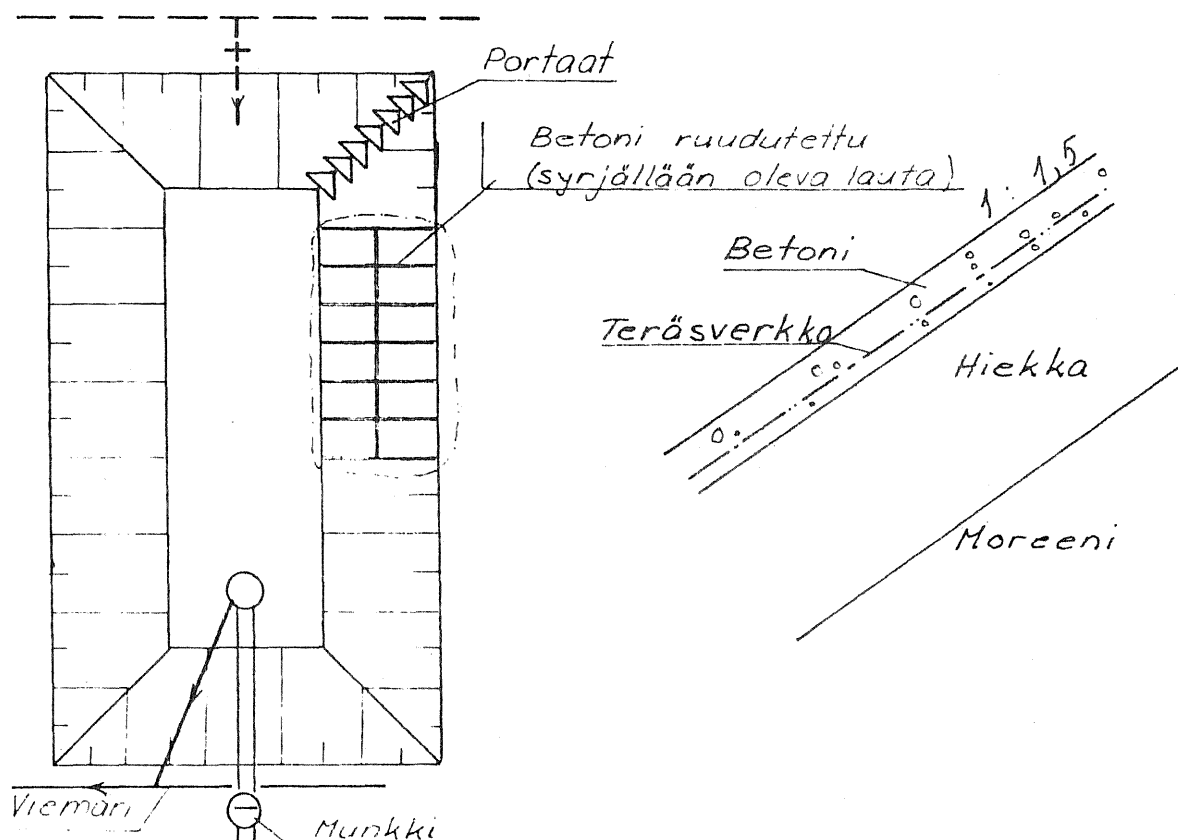
Kalanviljelylaitoksen maalammikkoalueen tilantarpeeseen vaikuttaa huomattavasti lammikon luiskien kaltevuus. Käytännössä on havaittu, että jyrkin luiskankaltevuus on 1:1,5, kun luiskaverhouksena on käytetty vyöryviä materiaaleja kuten soraa. Pystyseinämäisenä allas voidaan tehdä joko puuponttiseinin tai betoniseinin. Taulukossa 2 on esitetty käytettävät luiskakaltevuudet eri verhousmateriaaleille. Kuvassa 15 on Pohjois-Suomen keskuskalanviljelylaitoksen emokala-altaan betoniverhous.

Verhousmateriaalin tulisi olla pinnaltaan sellaista, etteivät kalat saa hankausvaurioita suompeitteeseensä ja eviinsä. Tässä mielessä luonnonmateriaalit, sora ja kivet, ovat hellävaraisia (kuva 16). Kivien koko tulee olla verhouksissa sellainen, etteivät kalat pääse pakenemaan niiden välisiin kaloihin allasta tyhjennettäessä. Sora- tai kiviverhotussa altaassa on pohjan oltava niin leveä, ettei mahdollinen luiskan vyöryminen madalluta allasta haitallisesti.

Taulukko 2. Maa-altaiden luiskakaltevuudet

Verhous	Suurin kalt.	Sopiva kalt.	Huom.
Karkea sora	1:1,5	1:2	kivinen max $\varnothing$ 150 mm
Kivilados	1:1,25	1:1,5	
Betonilaatta	1:1	1:1,25	d = 80 - 100 mm
Ei verhousta	1:1,75	1:2	perusmaa HkMr

Kala-altaat puhdistetaan laskeutuvasta lietteestä sekä reunoihin tarttuvasta leväkasvustosta tavallisimmin painevedellä ja harjalla. Luiskaverhousten tulee kestää pesutoimet sortumatta. Vesipinta lasketaan pesun ajaksi mahdollisimman alas. Jos kalat ovat pesun ajan altaassa, on sen koon oltava sellainen, ettei puhdistuksesta aiheutuva vedenlaadun heikkeneminen ehdi aiheuttaa kaloille vahinkoa. Vinoluiskaisen emokala-altaan sopivana kokona pidetään 70 - 150 m<sup>2</sup> mitattuna vesisyvyyden puolivälistä. Liian pienissä yksiköissä vievät luiskat ja pengert suhteettoman suuren osuuden pinta-alasta. Tämän lisäksi joudutaan asentamaan enemmän vedenjakelu- ja poistolaitteita, mikä aiheuttaa kustannusten nousua.



Kuva 15. Maa-altaan betoniverhous.

Pyöreät altaat on yleensä rakennettu betonista. Seinäminä on myös käytetty lasikuitubetonia tai -muovia sekä aaltoteräslävyä. Suomen oloihin näistä sopii parhaiten kaksi ensiksi mainittua, sillä suuret lämpötilavaihtelut ja routa voivat vaurioittaa heikompia materiaaleja.

## 2.5 Kasvatus ravinnoksi

Suomessa kasvatetaan suoraan ravinnoksi yksinomaan kirjolohta. Tuotanto on kehittynyt viime vuosina nopeasti ja on nykyisin eräillä laitoksilla jo lähes teollistunutta automaattisine ruokinta- ja kalankäsittelylaitteineen.

Tuotannossa pyritään mahdollisimman suureen kalatiheyteen ja nopeaan kasvuun. Kirjolohi kasvatetaan joko ns. annoskalakokoon (250 - 300 g), mikä on tavallista mm. Tanskassa tai kuten meillä on yleinen käytäntö 1 - 2 kg:n painoiseksi. Kirjolohta ruokitaan kasvatustarkoituksessa yleensä kuivarehulla. Merialueella on saatavana myös tuorerehua. Suurilla laitoksilla kalojen ruokinta hoidetaan traktorivetoisen ruokintavaunun avulla.

Norjassa kasvatettiin vuonna 1980 suoraan ravinnoksi noin 7,5 milj.kg kalaa, josta suurin osa lohta (Fish Farming International, December 1980). Lohi vaatii vaelluskoon saavutettuaan suolaista vettä kasvaakseen nopeasti, jonka vuoksi sitä viljellään merivedessä, tavallisimmin verkkokasseissa. Suomen pitkä ja suurimmalta osaltaan puhdasvetinen rannikkoalue on tältä osin kokonaan hyödyntämättä. Lohen kasvatus on kirjoloheen verrat-

tuna vaikeampaa ja kestää kauemmin. Kirjolohi saavuttaa teuraspainon (1-2 kg) kolmannen elinvuotensa syksyllä. Lohelle on samana aikana kertynyt enintään 1 kilon paino. Seuraavana kautena lohi saavuttaa Norjan meriviljelmillä jo 4-7 kilon painon. Olosuhteet ovat kasvun kannalta edulliset, sillä Golft-virta pitää rannikkovedet talvellaikin keskimäärin 4 - 5°C lämpötilassa. Lohen hinta on kirjoloheen verrattuna 2-3 kertainen. Lohi teurastetaan ennen sukukypsyyden saavuttamista, koska tällöin sen lihan laatu heikkenee ja kuolevuus on huomattava.

#### Altaat

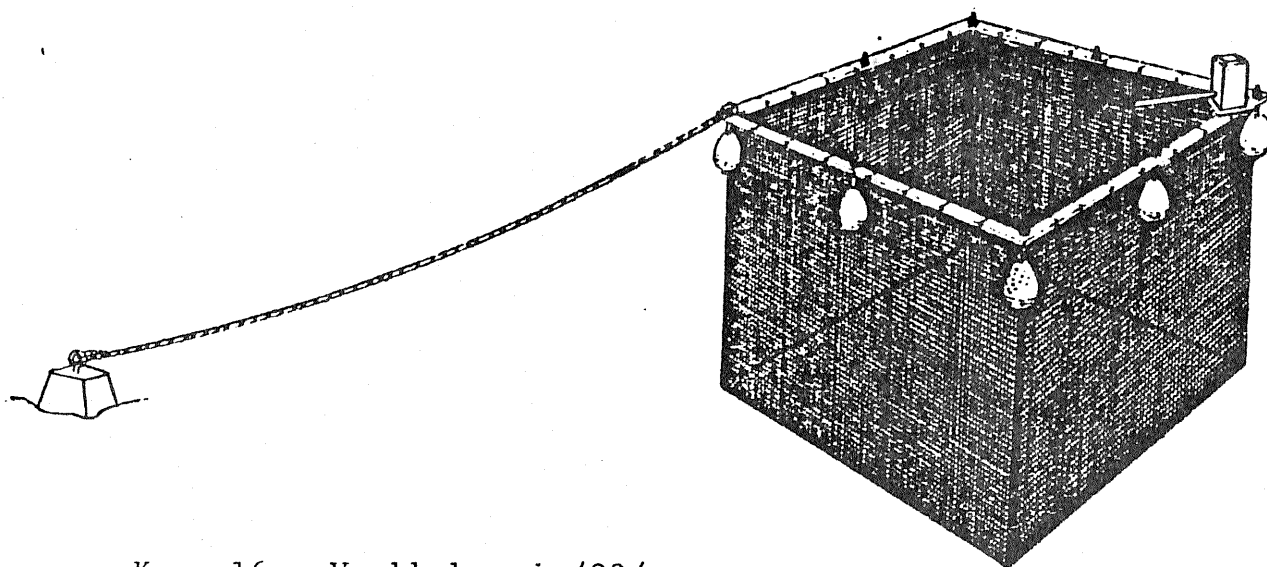
Kirjolohta kasvatetaan meillä tavallisesti maauoma-altaissa, joissa virtausnopeus on säädettävissä vedenpintaa muuttamalla. Koska kalatiheydet ovat kasvatuskauden loppupuolella suuria on veden virtauksen pystyttävä poistamaan aineenvaihdunnan heikentämä vesi.

#### Verkkokassit

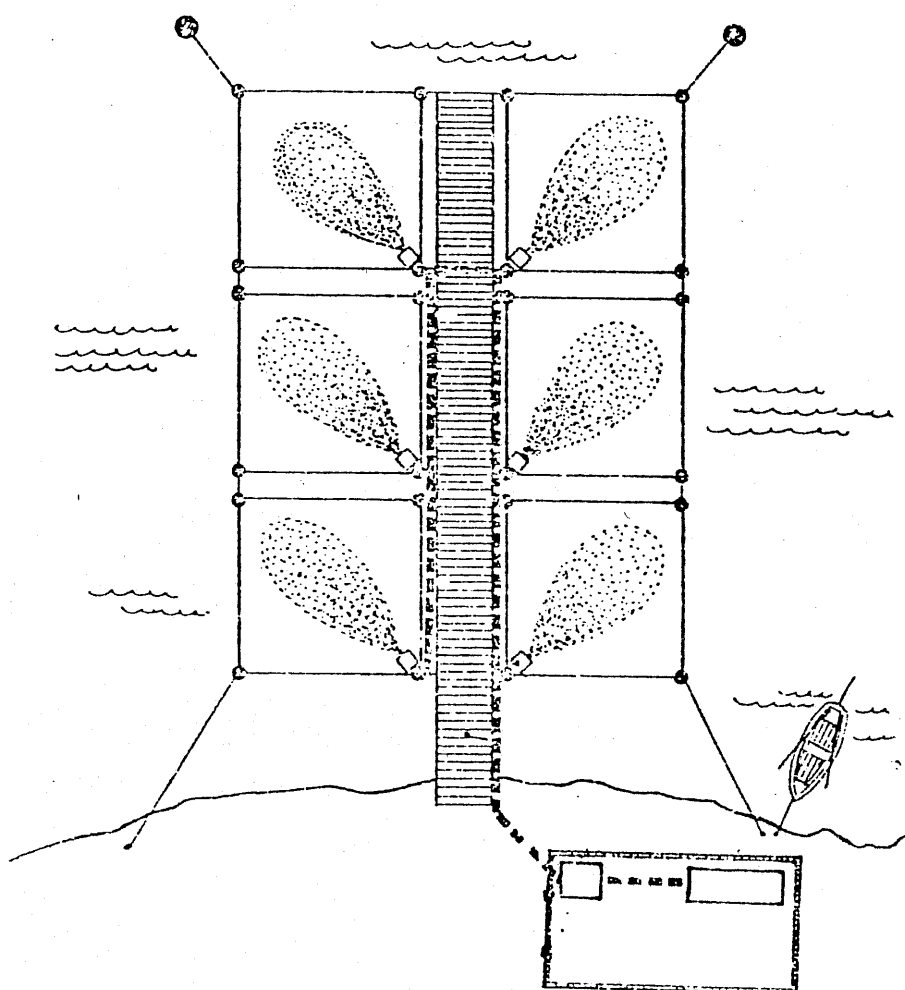
Suomessa verkkokassit ovat käytössä varsinkin merialueen viljelmillä. Verkkokassilaitos olisi sijoitettava sellaiseen paikkaan, etteivät tuuli ja aallokko pääse sitä rikkomaan. Parasta olisi, jos laitokseen päästäisiin suoraan rannalta, sillä maayhteys helpottaa laitoksen hoitamista. Laitoksen kohdalla on veden syvyyden oltava vähintään 6 metriä.

Viljelyn tuloksellisuuden kannalta on ratkaisevaa miten vesi pääsee virtaamaan verkkokassien läpi. Sopiva veden virtausnopeus on noin 3 - 10 metriä minuutissa. Sijoittamalla verkkokassit salmeen tai vastaavaan paikkaan saadaan paras veden vaihtuvuus. Pumppujen käyttö on myös mahdollista suhteellisen pienin kustannuksin. Kassien verkot on pidettävä puhtaina leväkasvusta.

Kuvassa 16 on esitetty verkkokassi ankkureineen ja ruokinta-automaatteineen. Kasseja voidaan kytkeä useampia ryhmään ja ne ankkuroidaan riittävän monesta kohdasta. Laituri ryhmän keskellä helpottaa huomattavasti hoitoa /29/.



Kuva 16. Verkkokassi /29/.



Kuva 17. . Verkkokasseista muodostettu laitos /29/.



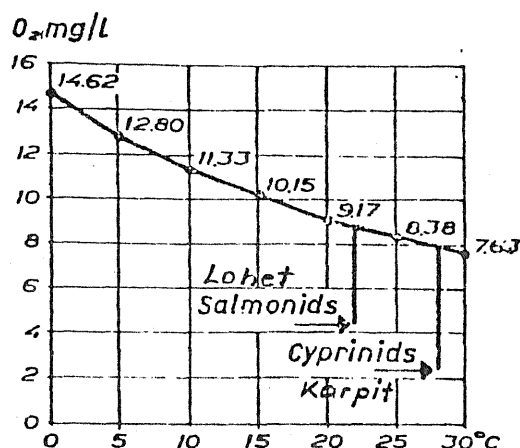
### 3. KALANVILJELYSSÄ KÄYTETTÄVÄN VEDEN LAATU JA TARVE

#### 3.1 Veden laatu

Veden soveltuvuutta kalanviljelytarkoituksiin arvostellaan pääasiassa lämpötilaolojen, happipitoisuuden, happamuuden ja veden mukana mahdollisesti kulkeutuvien epäpuhtauksien perusteella.

#### Happi

Puhtaaseen veteen liuenneen hapen kyllästyspitoisuus riippuu paineesta ja lämpötilasta. Useimpien lohikalojen happivaatimus on 9 mg/l, mikä on mahdollista normaalisti vain alle 20°C lämpötilassa (kuva 18). Lyhytaikaisesti pitoisuus voi laskea huomattavasti mainitun rajan alapuolellekin eli noin 5 - 6 mg/l. Samoin voidaan sallia hetkellinen ylitys 20°C lämpötilaan. Välimerenmaissa saattaa kirjolohilammikon veden lämpö nousta yli 25°C. Tällöin lammikossa on oltava sopivaa kasvillisuutta, joka yhteyttäessään tuottaa veteen happea yli kyllästysarvon tai altaan happipitoisuutta on kohotettava keinotekoisesti.



Tempera- ture in °C	O <sub>2</sub> in mg/l	O <sub>2</sub> in cm <sup>3</sup> /l
0	14.62	10.23
5	12.80	8.96
10	11.33	7.93
15	10.15	7.10
20	9.17	6.42
25	8.38	5.86
30	7.63	5.54

Kuva 18. Hapen liukoisuus veteen lämpötilan funktiona /9/.

## Lämpötila

Kevätkutuisilla lajeilla, joita ovat mm. kirjolohi, kuha, hauki ja harjus, voidaan haudonta suorittaa suhteellisen lämpimällä vedellä. Sopiva lämpötila kirjolohen haudonnassa on 9-10 astetta /9/.

Kuoriutumisen jälkeen lämpötilan tulisi tasaisesti nousta noin kymmeneen asteeseen. Poikasille on eduksi, ettei lämpötila tästä enää nouse pienpoikasvaiheessa.

Pyrittäessä nopeaan kasvuun tulee lämpötilan olla korkeampi. Yleisesti pidetään kasvatusveden optimilämpötilana lohikaloille 15 - 18°C. Mädituotantoa varten pidettävien emokalojen kasvatusvesi voi sen sijaan olla viileämpää, noin 13 - 15°C. Lämpötilan noustessa lisääntyy kalatautiriski voimakkaasti.

Tietyissä olosuhteissa veden lämpötila saattaa laskea 0°C alapuolelle. Makeassa vedessä esiintyessään alijäähtymisestä on seurauksena supon esiintyminen, mistä on haittaa kaloille kidusten vahingoittuessa sekä laitoksen vesitykselle supon tarttuessa vesiteihin, välppiin tai munkkeihin. Merialueella veden lämpötila laskee nollan alapuolelle ennen jäätymistään johtuen meriveden suolapitoisuudesta. Tämä haittaa ja voi jopa estää verkkokassiviljelyn talvella.

Veden optimilämpötila riippuu viljelyvaiheesta sekä kalalajista. Syyskutuisten lajien haudontavesi on meidän oloissamme jo luonnostaan kylmää. Talvisin kalanviljelylaitosten veden lämpö vaihtelee 0,1 - 3°C välillä.

Siian haudonnan onnistumiselle on veden lämpötilalla ja etenkin sen säätömahdollisuudella suuri merkitys. Koska haudontaaika riippuu käytettävän veden lämpötilasta, saattavat poikaset kuoriutua niin aikaisin keväällä, että luonnonravintolammi-koissa tai järvissä, joihin poikaset tulisi istuttaa, ei ole vielä kehittynyt niille ravinnoksi sopivaa planktonia. Tällöin koko

istutuserä saattaa tuhoutua. Siian poikasia ei voida pitää kalanviljelylaitoksella kuin muutaman vuorokauden ajan, sillä ne käyttävät ruskuaispussinsa ravinnon hyvin nopeasti, jonka jälkeen ne on siirrettävä luonnonmukaiseen ympäristöön. Jotta haudonta-aikaa voitaisiin pidentää tarvittaessa, tulisi olla käytettävissä mahdollisimman kylmää vettä.

#### Happamuus

Happamuuden tulisi olla lähellä neutraalia eli pH 7,0, mutta veden katsotaan soveltuvan kalanviljelyyn kaikissa 6,2 ja 8,5 välisissä pH arvoissa. Ehdottomana alarajana lohikaloille pidetään pH 4,5. Rautapitoisessa vedessä on alaraja kuitenkin noin pH 5,5. Ylärajana pidetään pH 9,2 /29/.

#### Raskasmetallit

Raskasmetallipitoisuuksille on esitetty mm. seuraavat enimmäispitoisuudet: /11/:

Metalli		Sallittu pitoisuus (jatkuva)	
Rauta	Fe	0,3	mg/l
Mangaani	Mn	1,0	"
Alumiini	Al	0,1	"
Sinkki	Zn	0,04	"
Lyijy	Pb	0,01	"
Elohopea	Hg	0,1	"
Cadmium	Cd	0,002	"
Kupari	Cu	0,005	"
Kromi	Cr	0,01	"

#### Vedenlaatusuosituks

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos on esittänyt vesihallitukselle ohjeiksi kalanviljelylaitospaikkojen inventointia var-

ten seuraavan asetelman mukaiset lämpötila- ja vedenlaatuvaatimukset.

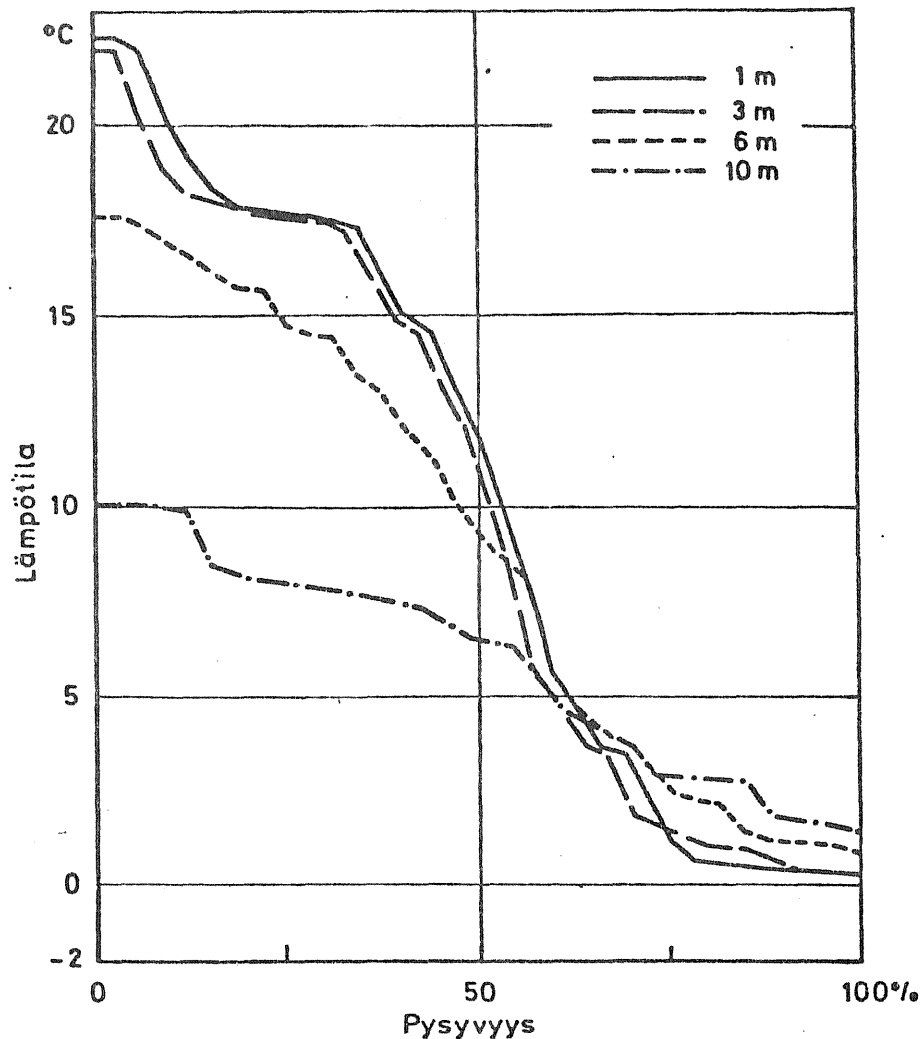
Lämpötilasuositukset:

	Suositus	Sallittava	Hetkellisesti sallittava
Talvi	1-6°C	0,5°C	0,1°C
Kesä	18°C	20°C	22°C

Vedenlaatusuositukset:

	Suositus	Sallittava	Hetkellisesti sallittava
O <sub>2</sub> -pit.	90 %	80 %	70 %
pH	6,5	6,2	6,0
γ <sub>20</sub>	40 uS	30 uS	20 uS
Väri	30 mgPt/l	80 mgPt/l	120 mgPt/l
Rauta	0,2 mg/l	0,4 mg/l	0,6 mg/l

Jos vedenlaadusta on käytettävissä riittävän pitkät havaintojaksot, voidaan määrittää eri vedenlaatuparametrien toistuvuudet (kuva 19). On tarkoituksenmukaista käsitellä ainakin lämpötilan ja happitilanteen osalta erikseen kasvatuskautta sekä talvikautta.



Kuva 19. Lämpötilan pysyvyyskäyrät eri syvyyksillä Sonnanjärvessä 1978 - 1981 / 6 /.

#### 4.2 Veden tarve

Kaikki Suomessa viljeltävät kalalajit tarvitsevat suhteellisesti paljon hapekasta vettä. Kasvatuksen intensiivisyys vaikuttaa laitoksen vedenkäyttöön. Luonnonravinnolla kasvavat kalat tulevat yleensä toimeen sillä, että korvataan haihdunta ja suotautuminen, jottei lammikon vedenpinta laske niin alas, että vesi lämpiää kesäaikaan liiaksi. Tehokkaassa viljelyssä kalatiheydet ovat suuria ja ruokinta voimakasta, joten raikasta vettä tarvitaan niin paljon, että kalojen hengityksen vaatima happimäärä voidaan turvata sekä poistaa aineenvaihduntatuotteet.

Tiedot tarvittavista vesimääristä vaihtelevat usein huomattavastikin. Seuraavassa esitetään joitakin arvioita lohikalojen kasvatuksen vaatimista vesimääristä.

Taulukko 3. Haudonnan vedentarve yhtä mätilitraa kohti erilaisilla haudontalaitteilla.

Laite	Q (l/min)	Lähde	Huom.
Kaukalo	1,0 - 1,25	/9/ /30/	kuva 7
Laatikkosarja	1,0 -(3,0)	/9/	kuva 8
Suppilo	0,4	/9/	kirjolohi
	1,0		siika
Siilo	0,32	/9/	kuva 9
Saavi	0,35	arvio	

Yhdessä litrassa mätidiä on 4 000 - 5 000 lohen, 5 000 - 10 000 kirjolohen tai taimenen, 12 000 - 15 000 nieriän ja noin 55 000 vaellus- tai planktonsiian mätimunaa.

Lohella 1 000 mätimunan vedentarpeeksi voidaan arvioida 0,4 l/min ja kirjolohella ja taimenella noin 0,25 l/min.

Kuvan 7 mukaisessa haudontakaukalossa voidaan pitää kuoriutumisen jälkeen 8 000 - 10 000 lohta, taimenta tai nieriää, kunnes ne oppivat ottamaan ravintoa vastaan noin kolmen viikon ikäisinä. Kirjolohen poikasia voi olla 12 000 kpl kaukaloa kohden. Alkuvaiheessa vedentarve on noin 10 l/min kasvaen aina 15 l/min eli 1 - 1,5 l/min tuhatta poikasta kohti.

Alustavassa suunnittelussa voidaan käyttää seuraavia arvoja /9/:

Mädin haudonta:

- vedentarve 1/2 l/min 1 000 mätimunaa kohden ( $t \leq 10^{\circ}\text{C}$ )

Pienpoikaset 0 - 3 kk:

- vedentarve 1 - 3 l/min 1 000 poikasta kohden ( $t \leq 10^{\circ}\text{C}$ ), kunnes ruskuaispussi on käytetty. Sen jälkeen  $t \leq 15^{\circ}\text{C}$

Poikaset 4 - 12 kk: ( $t \leq 15^{\circ}\text{C}$ )

- vedentarve 4 - 12 l/min 1 000 poikasta kohden.

Siian mädin haudonnassa vedentarve on noin 0,2 - 0,3 l/s 10 litran suppiloa kohti.

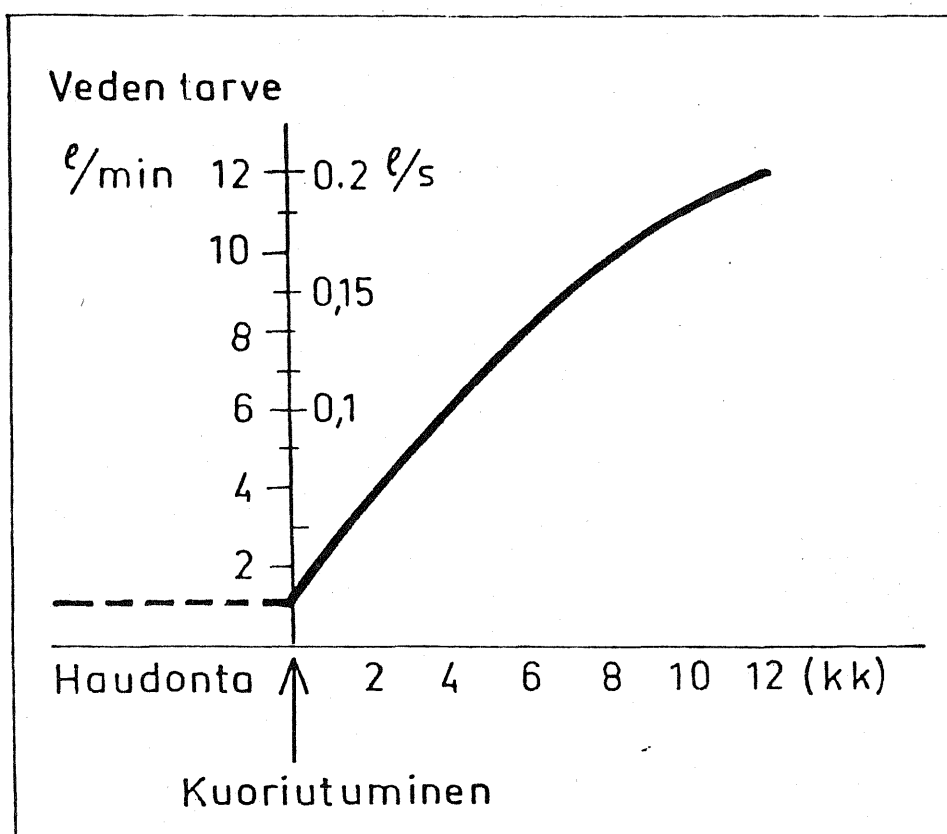
Veden tarpeen arvioinnissa on huomioitava myös viljelyn normaalitappiot, jotka pääasiassa tapahtuvat ensimmäisen vuoden aikana.

Lohen, taimenen ja nieriän viljelyssä normaalitappiot ovat noin 50 % ensimmäisen ikävuoden tullessa täyteen (tappiot laskettu mädistä). Tästä arviolta 15 % on tapahtunut jo haudonnan aikana ja loput sen jälkeen. Mikäli aikomuksena on tuottaa 1 000 yksivuotiaista poikasta on hautomoon otettava tätä varten kaksinkertainen määrä mätimunua. Tuhannen yksivuotiaan tuottamiseen tarvittava vesimäärä voidaan likimäärin arvioida kuvasta 20, joka perustuu edelliseen arvioon normaalitappioista sekä aikaisemmin mainittuihin vedentarvearvioihin.

Emokalakasvatuksessa tarvitaan yleensä vähintään 1 litra vettä minuutissa kalakiloa kohden. Poikkeuksellisten tilanteiden aikana on varauduttava noin kahden minuuttilitran tarpeeseen.

Arvioitaessa kalanviljelylaitoksen suurinta veden tarvetta ei haudontaa tarvitse ottaa huomioon, koska sen vedentarve ei ajoitu kesään, jolloin kasvatus on suurimmillaan.

Kirjolohilaitoksen maksimi vedentarve voidaan arvioida myös suoraan laitoksen tuotantomäärän perusteella. Veden tarve on noin 10 l/s kutakin vuotuista 1 000 kg tuotantomäärää kohti. Laitoksittain veden käyttö kuitenkin vaihtelee jonkin verran edellä mainitun arvon molemmin puolin.



Kuva 20. Tuhannen yksivuotiaan tuottamiseen tarvittava virtaama kuukausittain.

Suurinta kasvatustiheyttä rajoittavina tekijöinä pidetään käytettävissä olevan hapen määrää ja sitä aineenvaihdunnan suuruutta jonka käytettävissä oleva virtaama mahdollistaa.

Jos laitoksen käyttöveden laadusta on riittävän hyvät tiedot, voidaan laitoksen vedentarvetta arvioida seuraavan yhtälön (WILLOVGHBY 1968) perusteella. Tässä yhtälössä oletetaan käytettävissä olevan hapen olevan kasvatuskapasiteettia rajoittavana tekijänä /29/.

$$(O^a - O^b) \times \frac{86,4}{250} \times Q = \text{ruokinta [kg/vrk]} \quad \text{eli}$$

$$O^a - O^b \times 0,3456 \times Q = \text{ruokinta}$$

$O^a$  = tulevan veden happipitoisuus mg/l

$O^b$  = lähtevän " " "

tai 5 mg/l, mitä pidetään alarajana lohikaloille



- 6,4 = tonnia vettä vuorokaudessa kun virtaama on 1 l/s
- 250 = happimäärä g, joka tarvitaan 1 kuivarehukilon metabolismaan (Empiirinen tulos 24 laitokselta USA:sta, WILLOUGHBY et.al. 1972. Lämpötila 5-18 °C)
- Q = tulevan veden virtaama l/s

Laitoksen tarvitseman virtaaman laskemiseksi vaaditaan tiedot tulevan veden happipitoisuudesta lähinnä kriittisimpinä aikoina. (Usein kylläkin esimerkiksi kriisitilanteissa vesimääriä voidaan useimmilla laitoksilla tilapäisesti lisätä). Muita lähtötietoja ovat kasvatettavaksi suunniteltu kalamäärä ja niiden ruokinta, joka riippuu veden lämpötilasta ja kalalajista sekä kalan koosta.

Mikäli altaassa halutaan kasvattaa tietty kalamäärä, saadaan edellä olevan yhtälön perusteella tarvittavaksi virtaamaksi

$$Q = \frac{\text{ruokinta kg/vrk}}{(O^a - O^b) \times 0,3456} = \frac{P \times M}{(O^a - O^b) \times 0,3456}$$

missä P = ruokinta % kalan painosta vuorokaudessa

M = altaan kalamassa kg

Ruokintamäärät voidaan arvioida ruokintaohjetaulukkoista jollaisesta on esimerkkinä taulukko 4.

Taulukko 4. Kirjolohen ruokintataulukko /3/.

Table 4. Rainbow trout feeding table. (By courtesy of T Skretting A/S)

Feed type	Starter feed		Growth feed				Slaughter feed				
Feed size no.	0	1-2	2	3	3-4	4	4A	5	5-6	6	7-8
No. fish/kg	5000	5000-650	650-250	250-100	100-50	50-25	25-15	15-10	10-7	7-5	5-
Mean fish size (cm)	2.5	2-5.5	5-7.5	7.5-10	10-12.5	12.5-15	15-17.5	17.5-20	20-22.5	22.5-25	25-
Water temperature °C	Daily feed quantity (kg/100 kg fish)										
4	3.8	3.0	2.5	1.9	1.5	1.3	1.1	0.9	0.8	0.7	0.6
6	4.0	3.2	2.6	2.0	1.7	1.5	1.3	1.1	1.0	0.9	0.8
8	4.8	3.8	3.0	2.4	1.9	1.7	1.5	1.3	1.2	1.1	1.0
10	5.5	4.5	3.6	2.8	2.2	2.0	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2
12	6.5	5.2	4.2	3.2	2.5	2.3	2.0	1.7	1.6	1.5	1.4
14	7.5	6.0	5.0	3.7	2.9	2.6	2.3	2.0	1.8	1.7	1.6
16	8.5	7.0	5.8	4.3	3.5	3.0	2.6	2.3	2.1	2.0	1.9
18	5.0	4.5	3.7	3.0	2.4	2.2	1.9	1.6	1.5	1.3	1.3
20	3.0	2.6	2.3	2.0	1.6	1.4	1.2	1.0	0.9	0.8	0.7

Laskuesimerkki: Allas  $160 \text{ m}^2$   
 Tiheys  $10 \text{ kg/m}^2$  kirjolohta  
 Kooltaan keskim.  $1/2 \text{ kg/kpl}$   
 Kalamassa  $1600 \text{ kg}$   
 Lämpötila  $16 \text{ }^\circ\text{C}$   
 Happi  $8,8 \text{ mg/l}$   
 Ruokinta  $\% 1,9$  (taul 4)

Tarvittava virtaama (l/s)?

$$Q = \frac{0,019 \times 1\,600}{(8,8-5,0) \times 0,3456} = 23 \text{ l/s}$$

(=  $14 \text{ l/s/1000}$  kala kg)

#### 4. VESITYKSEN SUUNNITTELUN PERIAATTEITA

Vesityksellä tarkoitetaan tässä kalanviljelyyn käytettävän veden ottamista, johtamista laitokselle, jakelua käyttökoh-teisiin sekä käytetyn veden johtamista vesistöön. Kalanvil-jelylaitoksen vesitysjärjestelmän suunnittelussa joudutaan kuitenkin kiinteästi huomioimaan myös käytetyn veden puhdis-tus, jonka osalta viitataan lukuihin 7 ja 8.

Kalanviljelytoiminta on räjähdysmäisesti kasvanut 1970-luvul-la. Yksikkökoko ja vedenkäyttö on myös toista luokkaa kuin ennen "myllykaudella". Vesitystekniikka nykymuodossa on vie-lä ts. nuorta ja käytännön kokemuksista on saatu vasta viitteitä.

Vesityksen suunnittelu edellyttää kalanviljelytoiminnan perusteiden tuntemusta ja hyvää perehtyneisyyttä käytännön hydrauliseen suunnitteluun. Suunnittelun onnistumisen edellytyksenä on kiinteä yhteistyö teknillisen suunnittelijan, käyttäjän ja kalanviljelyn muiden asiantuntijoiden kesken.

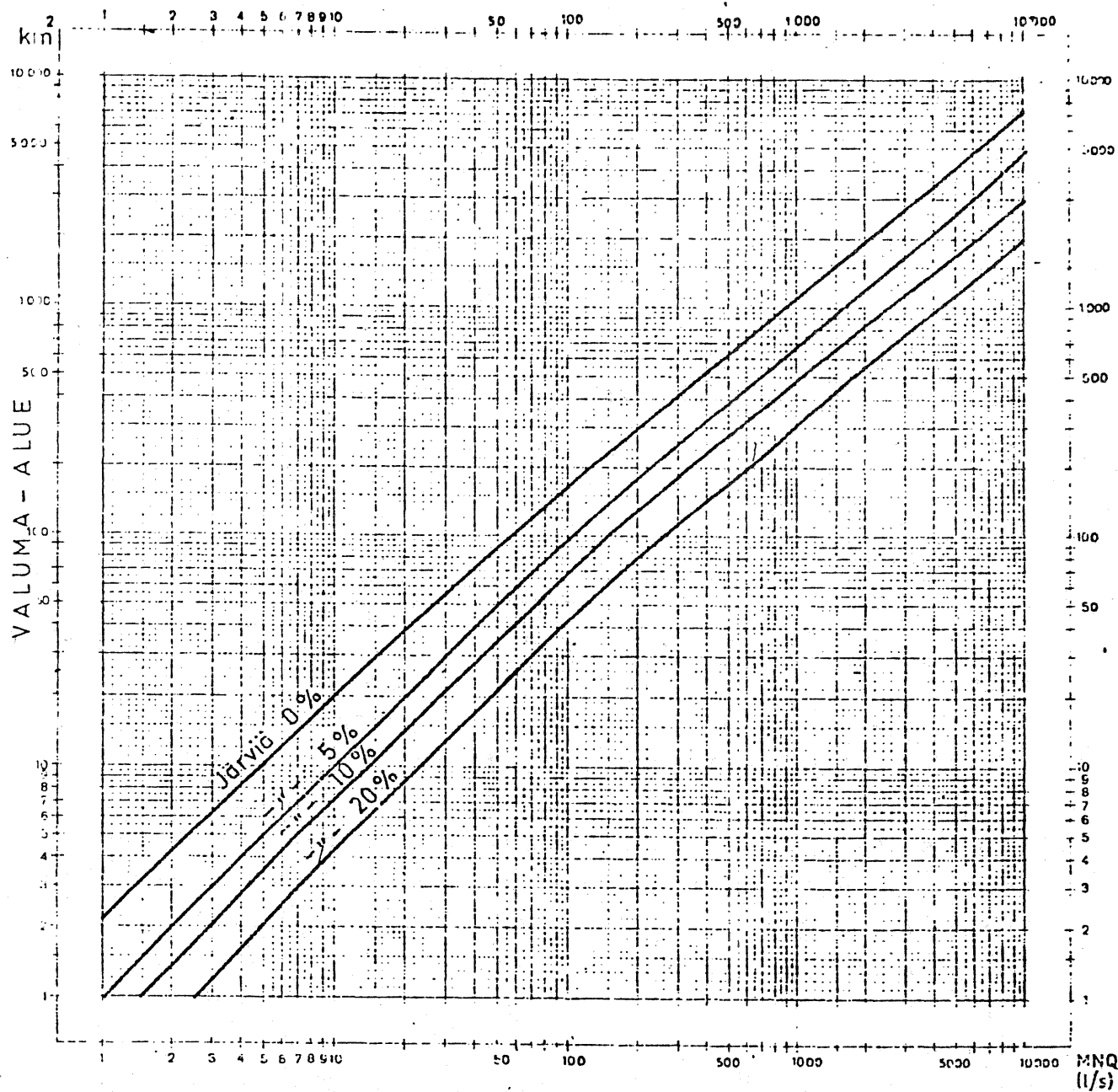
#### 4.1 Veden hankinta

Veden tarve kalanviljelylaitoksella on aina suurimmillaan kesäisin kasvukaudella ja tällöinkin yleensä loppukesällä jolloin kalamäärät ovat suurimmillaan ja veden lämpötila korkealla. Kuvassa 21 on esitetty yhden vuorokauden keskialivirtaaman riippuvuus vesistöalueen alasta ja järvisyydestä /18/.

Eri vesistöalueilla kuivakausien yksikkövalumat poikkeavat sekä alue- että ilmastotekijöistä johtuen niin paljon toisistaan, että kuvan 21 perusteella voidaan keskialivirtaama arvioida vain suuntaa antavasti ja tällöinkin sitä epätarkemmin mitä vähäjärvisemmästä vesistöstä on kysymys. Etelä-Suomessa ovat kesäkuivakaudet vuoden minimi-tilanteita, Keski- ja Pohjois-Suomessa talvikuivakaudet /10/. Kalanviljelylaitoksen mitoitus edellyttää yleensä alivirtaamien lähempää selvitystä tapauskohtaisesti. Yleensä kuitenkin kysymykseen tulevat sen kokoluokan vesistöt, että niissä on jo suoritettu myös alivirtaamamittauksia. Jo parinkin alivirtaamamittauksen perusteella on vertailuvesistöjä apuna käyttäen mahdollisuus tehdä päätelmiä harvemmin sattuvien alivirtaamien suuruudesta.

Koska alivirtaama on lyhytaikainen, voidaan vesistön antoisuutta merkittävästi lisätä varsin vähäiselläkin säännöstelyllä. Mitä poikkeuksellisemmasta tilanteesta on kysymys sitä suurempi merkitys em. seikalla on. Esim. 10 cm vesivaraston käyttö 10 km<sup>2</sup> suuruisesta järvestä mahdollistaa kahden kuukauden aikana lisävirtaaman 200 l/s.

Järvettömät tai vähäjärviset vesistöt soveltuvat huonosti kalanviljelylaitoksen vedenottovesistöksi, koska veden laadun ja



Kuva 21. Yhden vuorokauden keskilivirtaaman riippuvuus vesistöalueen alasta ja järvisyydestä.

määrän vaihtelut ovat niitä tasaavien järviältäiden puuttuessa suuria.

#### 4.2 Putouskorkeus

Tavoitteena tulee olla, että laitos voidaan sijoittaa sellaiseen paikkaan, jossa putousta on niin paljon, että kaikki vesityksestä riippuvat toiminnot voidaan suorittaa kaikissa olosuhteissa painovoimaa hyväksikäyttäen. Putouskorkeutta tarvitaan tapauksesta riippuen seuraaviin toimintoihin:

- Veden johtamiseksi laitokselle
- Veden mahdolliseen esikäsittelyyn kuten esim. hautomaveden suodattamiseen
- Veden jakeluun käyttökohteisiin
- Käyttöveden poisjohtamiseen ja puhdistuskäsittelyyn
- Kasvatusaltaiden tyhjentämiseen
- Mahdolliseen ilmastukseen
- Jälkisaostusaltaiden osittaiseen tai täydelliseen tyhjentämiseen lietteen saostamiseksi tai kuivattamiseksi
- Virtaamien mittaamiseksi.

Koska kalanviljelylaitoksella joudutaan vedenkorkeudet pitämään lähes vakiokorkeudella, tulee riittävän putouskorkeuden olla käytettävissä ottovesistön aliveden ja purkuvesistön tulvakorkeuden välillä.

Käytännössä kaikkiin edellä mainittuihin putousenergiaa vaativiin toimenpiteisiin ei ole tarvetta samalla laitoksella. Tinkimällä lisäksi joistakin osatavoitteista voidaan vaadittavaa putouskorkeutta myös pienentää aiheuttamatta riskiä laitoksen toiminnalle.

Putouskorkeutta voidaan lisätä pumppujen avulla. Suuremmilla nostokorkeuksilla tulevat mm. sähkökatkojen varalta tarvittavat varavoimanlähteet kalliiksi. Mikäli nostokorkeus on luokkaa 1-2 m, eivät energiakustannukset yleensä alenna laitoksen kannattavuutta. Pumppulaitoksen sijainti on huomattavasti vapaammin valittavissa kuin luonnonputousta hyväksi käyttävän.

#### 4.3 Toimintavarmuus

Vesityksessä on varmuuteen kiinnitettävä aivan erityistä huomiota. Jo muutaman tunninkin katkos vesityksessä saattaa aiheuttaa kalakannan tuhoutumisen.

Valtion kalanviljelylaitosten suunnittelussa on käytetty varmuussyistä periaatetta, että vaikka päävesitysjärjestelmässä sattuisi vaurio niin maksimivesimäärästä  $2/3$  on kyettävä toimittamaan eri kohteisiin. Vaurion ei ole kuitenkaan katsottu voivan tapahtua avouomissa, sisätiloissa olevissa kouruissa eikä kalliotunnelissa.

Edellä esitetty periaate johtaa käytännössä siihen, että johdattaessa vettä laitokselle putkissa on johtolinja rakennettava kahdella putkella, joista kummankin antoisuus on  $2/3$  maksimivesimäärästä. Laajennusvara on päävesityksessä huomioitu ylimitoittamalla päävesitysjärjestelmän antoisuus n. 40 %.

Poistovesityspuolella sattuva vahinko voi olla yhtä kohtalokas kuin tulovesipuolella, ellei sitä ole huomioitu suunnittelussa. Yleensä poistovesilinja voidaan kuitenkin vähäisin toimenpitein yhdistää johonkin toiseen linjaan, kuivatusojiin jne.

#### 4.4 Molekyyllisen typen ylikyllästymisen

Toinen tärkeä suunnitteluperuste on typen ylikyllästymisen estäminen. Typen ylikyllästys aiheuttaa ns. kaasukuplataudin, joka on syiltään sukeltajantaudille sukua oleva tauti. Sille on tunnusomaista pienten kaasukuplien muodostuminen kalan kudoksissa. Voimakkaana esiintyessään se on tappava. Tauti aiheutuu veteen liuenneiden kaasujen, lähinnä typen pitoisuuden noususta yli sadan prosentin. Kaasukuplatauti saattaa joskus esiintyä kaloissa luonnonvesissä. Ennen kaikkea se kuitenkin aiheuttaa esiintyessään haittaa kalanviljelylaitoksissa ja muissa kalanviljelyä ja kalavesien hoitoa varten rakennetuissa järjestelmissä.

Hapetta voi vedessä olla jopa 350 % lyhytaikaisesti sen aiheuttamatta haittaa, mutta typpikaasun ylikyllästymisestä tulee kaloille kaasukuplataudin oireita, kun kyllästysarvo on ylitetty 2 - 18 % riippuen kalan iästä. Nuoret kalat reagoivat voimakkaammin ylikyllästykseen kuin varttuneemmat. *Oncorhynchus* -suvun lohilla vaarallinen kyllästysprosentti on vastakuoriutuneilla 103 - 104 %, ensimmäisen kesän sekä vuoden vanhoilla 105 - 113 % ja aikuisilla 118 %. Muiden lohikalojen herkkyys kaasukuplataudille on suunnilleen samanlainen kuin *Oncorhynchus*-lohien /26/

Pitkäaikaisiksi kyllästysasteen ylärajoiksi on esitetty hapen osalta 105 % ja typen osalta haudonta- sekä alkuvaiheessa poikaskasvatusta 100 % ja myöhemmin 105 % /11/.

Typen ylikyllästystä voi tapahtua jos ilmaa joutuu veden mukana paineelliseen tilaan tai vettä lämmitetään.

Mitä lämpimämpää vesi on, sen vähemmän siinä voi olla liuenneena typpeä. Jos vettä lämmitetään, typpeä alkaa vapautua kuplina ilmakehään kunnes tasapainotilanne, 100 % kyllästystila on saavutettu. Veden nopea lämmittäminen esimerkiksi 1°C:sta 6°C:een aiheuttaa 113 % ylikyllästystilanteen ja typpikuplia alkaa muodostua (taulukko 5).

Jos putkessa vallitsee yhden metrin vesipatsasta vastaava yli-  
paine ja siihen pääsee liukenemaan ylipainetta vastaava määrä  
typpeä, tämä aiheuttaa paineen hellittäessä 110 % kyllästyksen.  
Kolmen metrin vesipatsaan paine aiheuttaisi pinnassa 129 %:in  
kyllästyksen.

Kyllästystilanne voi myös syntyä, kun vesi syöksyy voimalaitok-  
sen tulvaluukusta syvään altaaseen padon alapuolella vieden  
mukanaan ilmakuplia syvään veteen, jossa niistä liukenee typpeä.  
Myös luonnonputousten alapuolella saattaa syntyä vastaava tilan-  
ne.

Vesitysjärjestelmään ilmaa voi päästä lähinnä vedenottokaivosta  
(esim. välppäkaivo), jakelukaivosta tai väärin suunnitellun  
ilmastuksen johdosta.

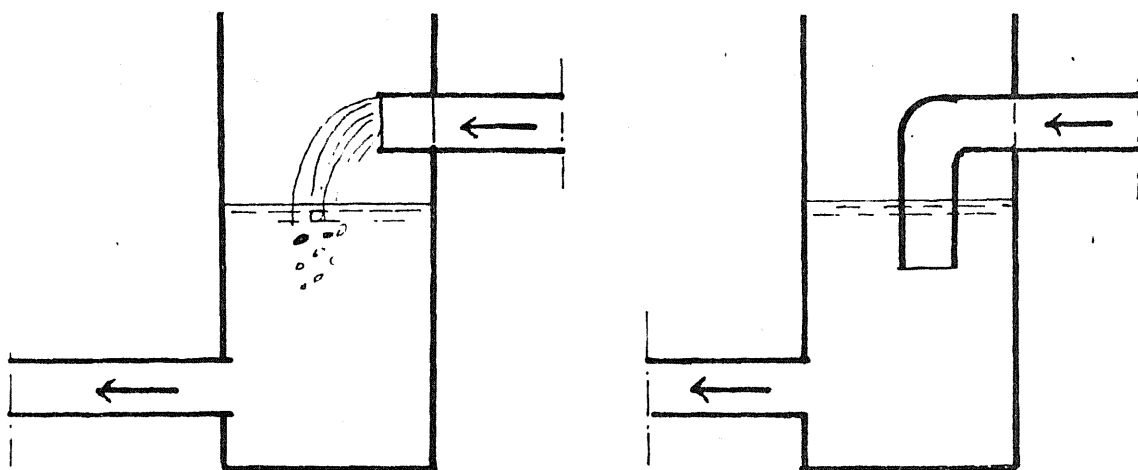
Kuvissa 22 ja 23 on esitetty tyypillisimmät tilanteet, joissa  
typen ylikyllästyminen on mahdollista vedenotto- ja jakelukai-  
voissa. Kuvissa on myös esitetty, miten ylikyllästyminen vai-  
daan välttää.

Taulukko 5. Liuenneen typen kyllästysarvot tislatussa ve-  
dessä eri lämpötiloissa normaali-ilmapaineessa  
760 mm Hg (Weiss 1970) /26/.

t °C	1	3	5	7	10	12	15
kyll.arvo ml/l	18,43	17,52	16,69	15,93	14,89	14,27	13,42

Veden ilmastuksessa tulee typen ylikyllästyksen estämiseksi  
välttää ilmastimia, jotka johtavat ilmaa yli 1,5 m syvyyteen.

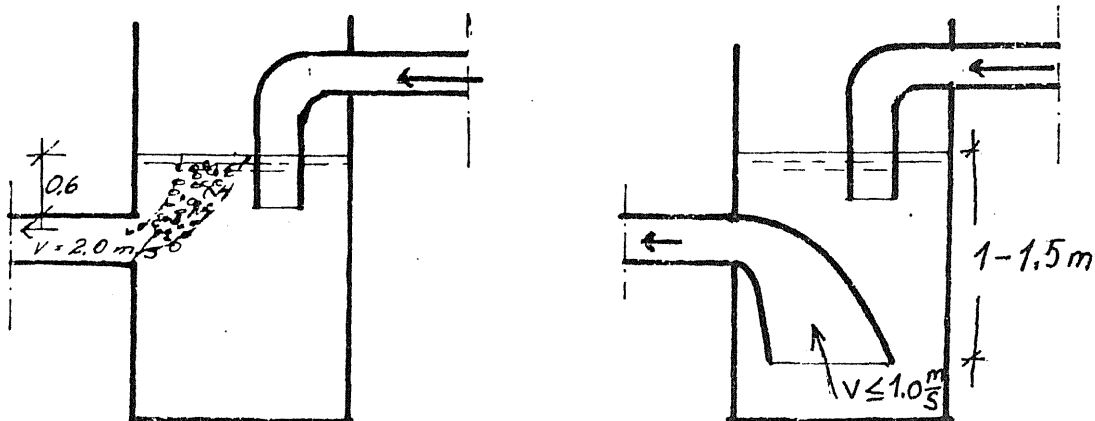




a) väärin

b) oikein

Kuva 22. Vesi ilmastuu ennen joutumistaan paineelliseen tilaan (kuva a), jolloin on typen ylikyllästymisvaara. Kuvan b) mukaisella muutoksella ei vaaraa ole.

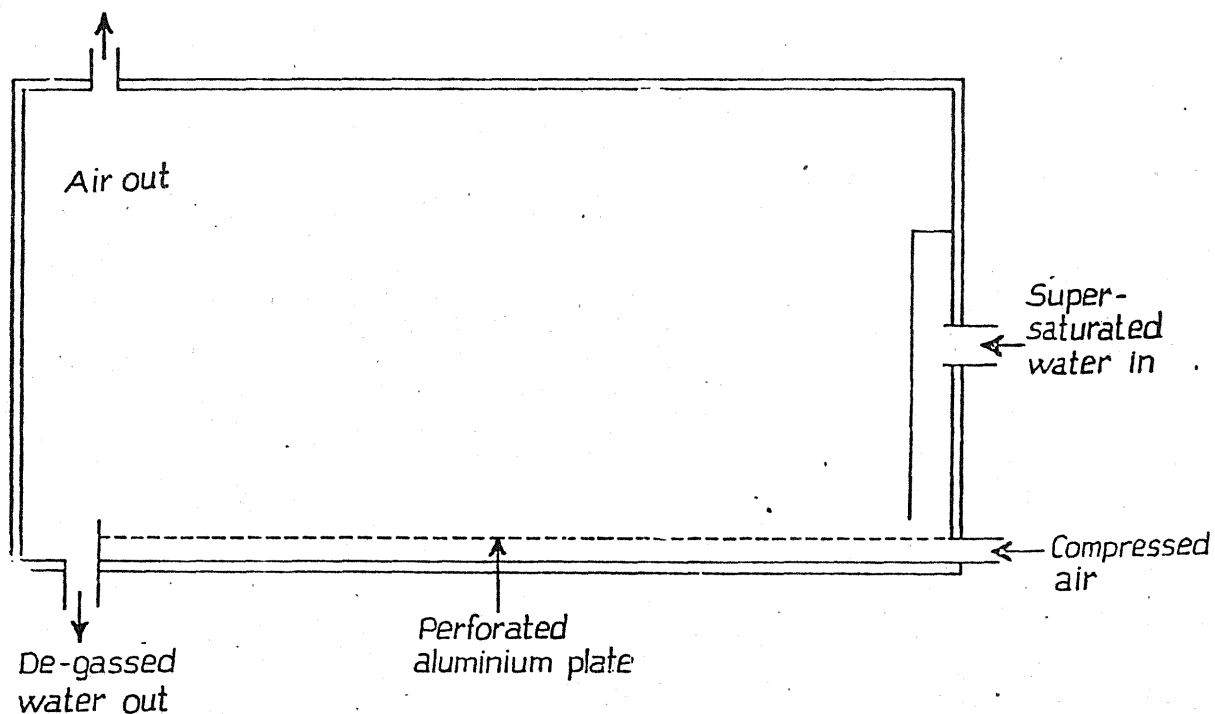


a) väärin

b) oikein

Kuva 23. Lähtöputki kuvassa a) imee ilmaa (häränsilmä). Korjaus kuvan b) mukaisesti.

Typen suhteen ylikyllästyneen veden käsittelemiseksi käyttökelpoiseksi on olemassa menetelmiä, jotka perustuvat ilmastukseen sekä ilmeisesti myös eräänlaiseen täräytyskäsittelyyn, joka saa ylimääräiset molekyylit poistumaan vedestä kuplina samalla syntyvissä lukuisissa ilman ja veden vapaissa rajapinnoissa. Niin kutsutussa "Inka"-ilmastimessa vesi johdetaan ohuena kerroksena rei'itetyn levyn yli ja alta puhalletaan ilmaa niin paljon, että vesi kuohuu valkoisena. Käsitteilyn jälkeen veden hapen ja typen kyllästysaste on lähellä 100 % (kuva 24).



Kuva 24. "Inka" -ilmastin /3/.

#### 4.5 Vedenotto ja johtaminen laitokselle

Kalanviljelylaitoksen tarvitsema vesi otetaan sijoituspaikasta riippuen järvestä, joesta tai maaperästä.

Mikäli vesi voidaan ottaa järvestä litoraalivyöhykkeen ulkopuolelta syvänteestä valikoidulta syvyydeltä (vähint. 2 tasol-

ta), voidaan välttää silmäloisten (imumadot, jotka leviävät keuhkokotiloiden välityksellä) haitat ja valita vedenotto lämpötilan ja happipitoisuuden perusteella.

Täysin riskitön ei ole edellä mainittukaan vaihtoehto poikkeuksellisen helteen sattuessa, sillä pintakerroksessa vesi saattaa olla liian lämmintä ja syvemmällä voi esiintyä huomattavaa hapen vajausta. Esim. Ylä-Enonvedellä sattui viimeksi mainittu tapaus kesällä 1980. Järviryhmään kuuluvia laitoksia ovat maassamme mm. Laukaan keskuskalanviljelylaitos ja Inarin Sarmijärven kalanviljelylaitos.

Mikäli vesi otetaan joesta ei lämpötilaa voida valita. Vesi saattaa alijäähtyä, josta on vaaraa kalojen kiduksille. Alijäähtynyt vesi (suppo) voi jäätyä etenkin metallirakenteisiin (sihdit, välpät jne.) sekä myös koskien kivikkoihin, jolloin veden tulo saattaa vähentyä tai katketa. Suppotulvankin vaara on olemassa. Veden laadun vaihtelut joessa ovat suuremmat kuin järvessä. Happitilanne on yleensä hyvä tai tyydyttävä ympäri vuoden. Tähän ryhmään kuuluu esim. Pohjois-Suomen keskuskalanviljelylaitos, joka käyttää myöskin pohjavettä.

Pohjavesi soveltuu haudontaan ja pienpoikasten viljelyyn steriiliytensä ja tasaisen lämpötilansa vuoksi. Liian suuri rautatipitoisuus saattaa olla haitaksi. Pohjavesi vaatii usein ilmastuksen ennen käyttöä. Tähän ryhmään kuuluu esim. Hatsinan kalanviljelylaitos.

Ottovesistön vedenlaadun vaihteluiden vuoksi on usein edullista, että vesi voidaan ottaa sellaisesta vesikerroksesta, jossa se parhaiten soveltuu kaloille. Tämän mahdollistamiseksi on olemassa kolme periaatteellista rakennevaihtoehtoa: vedenottotorni, nostettava ja laskettava putki tai useampi kiinteä eri syvyyksille asennettu putki.

Vedenottotorni rakennetaan esim. kasuuniperiaatteella, jolloin se voidaan uittaa paikalleen ja asentaminen ja yhdistäminen johdotukseen tapahtuu sukeltajatyönä. Eri vedenottotasaille asen-

netaan luukut, joiden säätäminen suoritetaan kauko-ohjatusti joko sähkömoottoreiden tai paineilman avulla. Myös käsisäätö on periaatteessa mahdollinen. Tornin korkeus ei saa yltää alivedenaikana jään alapintaan. (Kuva 25)

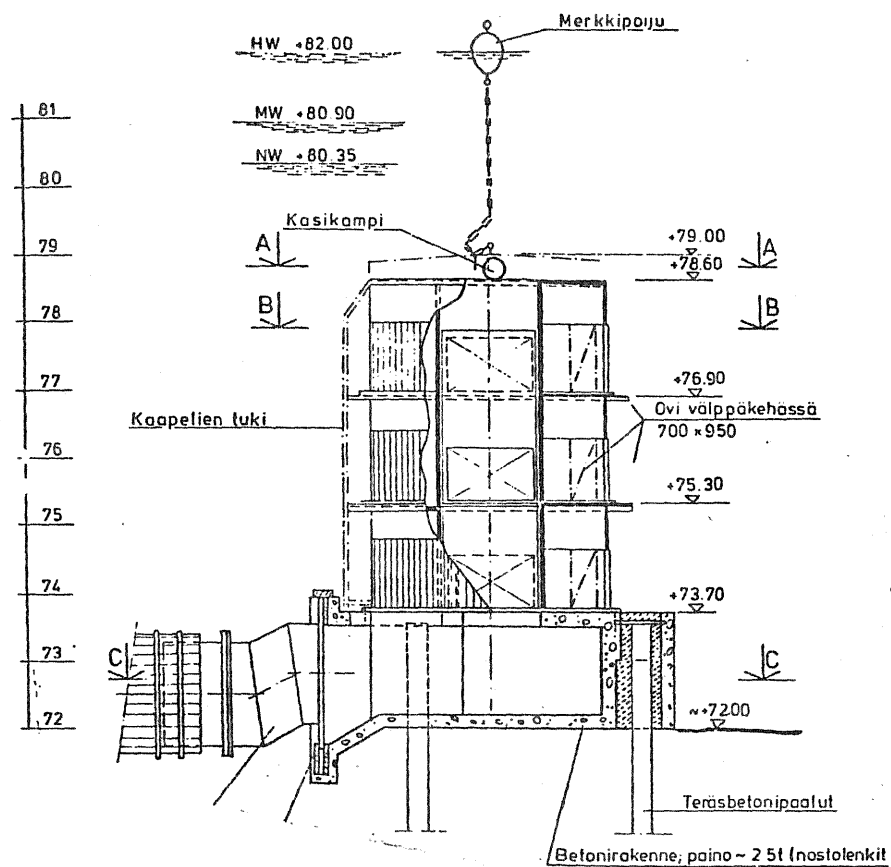
Liikuteltava putki voi tulla kyseeseen silloin kun eri vesikerroksien vettä ei tarvitse sekoittaa. Säätäminen voidaan suorittaa joko kauko-ohjauksella tai paikanpäällä. Tämä tapa tulee kysymykseen kun ottoputken koko on pienehkö, halkaisijaltaan enintään 0,5 - 0,6 m.

Vedenotto voidaan suorittaa useammalla eri syvyyksille asennetulla putkella silloin kun ottovesistö syvenee niin nopeasti, että rakennettavat putket ovat lyhyitä ja niiden kustannukset tulevat pienemmiksi kuin vedenottotornin, johon verrattuna tämän vaihtoehdon käyttöominaisuudet ovat samat. Useiden putkien käytöllä saavutetaan se etu, että säätölaitteet voidaan sijoittaa rantaan jolloin säätö ja mahdollisten vaurioiden korjaaminen helpottuu.

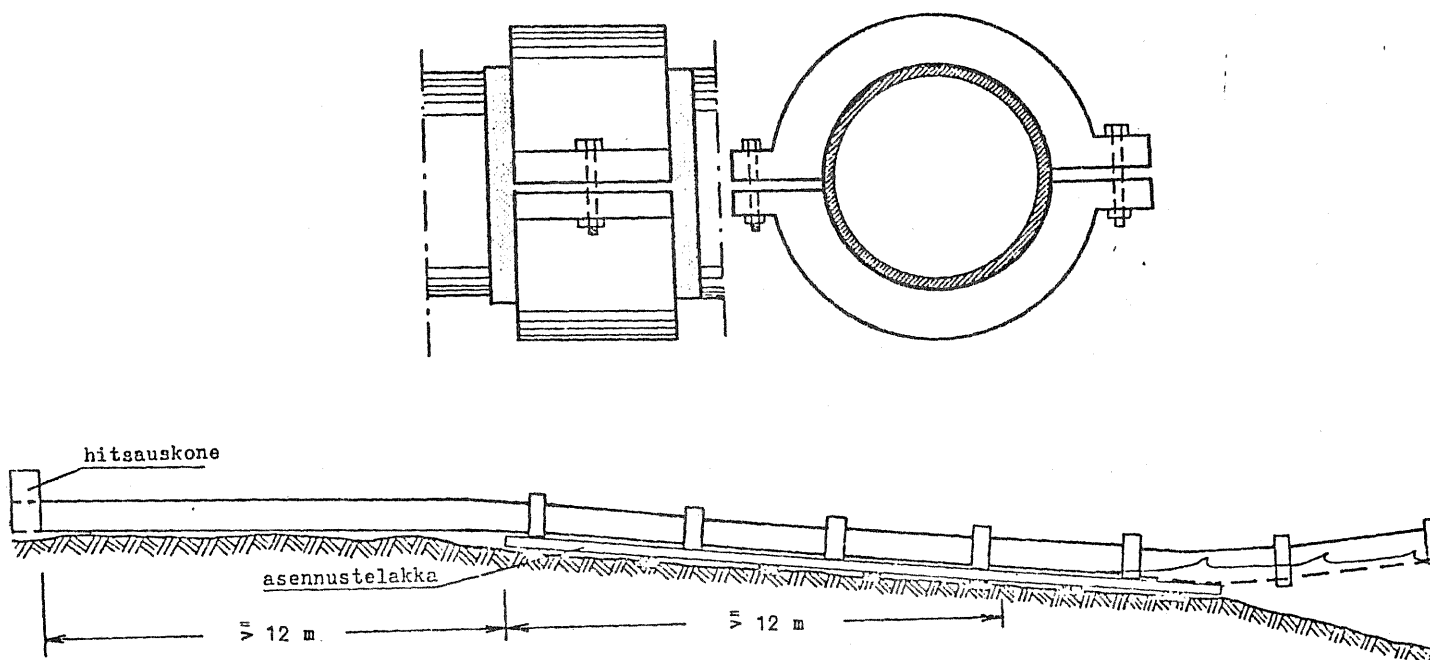
Vedenottolaitteiden alin ottosyvyys on oltava noin 1 m pohjasta, jottei pohjaliete kulkeudu virtauksen mukana putkeen. Ottopäähän asennetaan välppä, jonka sauvojen vapaa väli on noin 5 cm, mikäli toinen tiheämpi välppäys suoritetaan jakelualtaassa tai vastaavassa, muutoin noin 1 cm.

Ellei haluta rikkoa järven kerrostuneisuutta, saa veden virtausnopeus ottolaitteen suulla olla enintään 0,2 m/s. Tähän vaikuttaa myös järven tilavuuden suhde otettavaan vesimäärään.

Putki asennetaan jatkuvalle kaltevuudelle, jolloin estetään ilmapussien syntyminen. Vesiosuudelle asennettava putki painotetaan yleensä 50 % tyhjän putken nosteesta. Putkimateriaaleina tulevat kyseeseen puu-, muovi-, teräs-, lasikuitubetoni- ja betoniputki. Maahan upotettu päävesityspotki on merkittävä selvästi, jottei sitä myöhemmin rikota esimerkiksi työkonein. Kuvassa 26 on muoviputki painotettuna upotusvalmiina.



Kuva 25. Vedenottotorni /16/.



Kuva 26. Muoviputken painottaminen /28/.

Avokanava varustetaan pintakuorimella ja välpällä, johon voidaan myös asentaa automaattinen puhdistus. Tulokanava verhoetaan soralla tai sitä karkeammalla aineksella.

Vesikouru on verrattavissa avokanavaan useiden ominaisuuksiensa puolesta. Kourua käytetään mieluummin jakelulaitteena, jonka vuoksi tarkempi käsittely jätetään siihen yhteyteen. Kourun kattaminen on järjestettävissä helposti.

Tunnelia ei toistaiseksi ole Suomessa käytetty kalanviljelylaitoksen vesityksessä. Louhintatekniikasta johtuen tunnelin poikkipinta-ala on  $10 - 12 \text{ m}^2$ , joten sen avulla voidaan johtaa huomattavan suuria virtaamia pienin painehäviöin. Kustannuksiltaan tunneli tulee kilpailukykyiseksi putkeen verrattuna pitkällä vedenjohtomatkalla vaadittavan putkikoon ollessa noin 1,5 m:n luokkaa. Tämä edellyttää, että kallio-perä on ehjää eikä aiheuta lisäkustannuksia normaalista poikkeavina vahvistuksina.

#### Eri vedenjohtotapojen ominaisuuksia

##### Putki

- vesi suojassa epäpuhtauksilta
- ei näy ympäristöön
- putkirikkojen varalta oltava varajärjestelmä
- laajennusvara otettava huomioon
- hinta nousee jyrkästi halkaisijan kasvaessa
- kitkahäviöt huomattavia pitkillä linjoilla

##### Avokanava

- halvin tapa johtaa vettä
- vauriot helppo korjata
- helposti laajennettavissa
- pienet virtaushäviöt
- roskaantuu esim. syksyllä lehtien pudotessa
- vieraita aineita (öljy) saattaa joutua kanavaan

#### Kouru

- voidaan helposti kattaa
- verrattavissa avokanavaan muutoin
- helppo korjata ja muunnella

#### Tunneli

- vesi yleensä turvassa vierailta aineilta  
(varottava esim. maanalaisia öljysäiliöitä)
- suuri toimintavarmuus, ei vaadi varajärjestelmää
- ei näy ympäristöön
- suuret vesimäärät pienin painehäviöin
- saattaa muuttaa pohjavesisuhteita, lähinnä rakennusaikana
- mitoitus rakennusteknisistä syistä niin väljä, että laajennusmahdollisuus syntyy itsestään.

### 4.6 Sisäinen vesitys

#### 4.61 Jakelu

Veden jakelu kasvatusaltaisiin suoritetaan putkella, avokanavalla tai kourulla. Maassamme on käytetty ulkotiloissa putkea ja avokanavaa, sisätiloissa putkea ja kourua. Varmuustekijät huomioon ottaen tulisi mitoituksessa huomioida seuraavat vaatimukset.

##### Vaatimus 1.

Jakelulinjoilla mahdollisesti tapahtuvan vaurion vuoksi on alueille pystyttävä tuomaan korjauksen ajan vähintään 2/3 normaalia kasvukauden virtaamasta.

##### Vaatimus 2.

Vedenlaadun tilapäisen heikentymisen varalta on virtaama voitava kasvattaa puolitoistakertaiseksi.

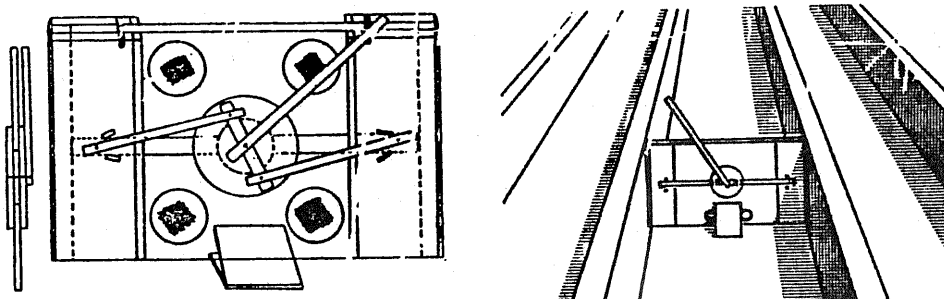
Näistä tapauksista valitaan määrävin eli suuremmat virtaushäviöt aiheuttava. Tämän lisäksi otetaan laajennusmahdollisuus huomioon erikseen. Laajennusmahdollisuuden rajat määräytyvät

usein käytettävissä olevien vesivarojen perusteella.

Vaatimuksesta 1. johtuu, että kukin allasryhmä tulisi vesittää silmukkaperiaatteella, jolloin vaurioitunut silmukan osa on katkaistavissa ja korjattavissa samalla kun muille altaille johdetaan niiden tarvitsema vähimmäisvirtaama. Vaihtoehtoisena ratkaisuna tulee kysymykseen jakeluverkoston kaksoisputkitus.

Vaatus 2. edellyttää vain putken mitoittamista puolitoistakertaiselle virtaamalle.

Jakeluputken vauriotapauksessa joudutaan vaurioitunut silmukan osa eristämään tai katkaisemaan veden tulo koko linjalta, josta syystä putkilinjalla tulee olla sulkumahdollisuus määrävälein. Tätä vaikeutta ei ole silmukassa olevassa kouru- eikä kanava-vesityksessä, vaan korjaus- tai huoltotoimenpiteitä vaativa kohta voidaan eristää rakentamalla maakanavaan esteseinä tai pato ja asentamalla kouruun setit tai erityinen sulkulaite (kuva 27).



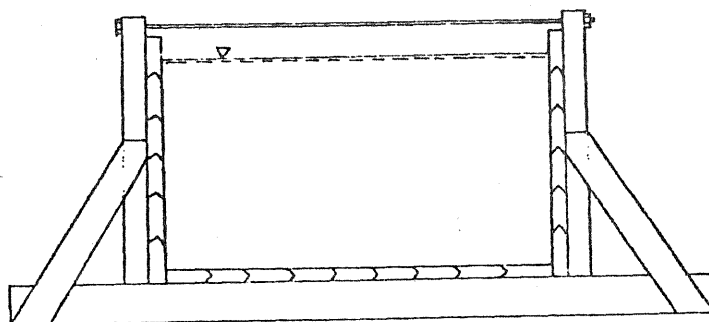
Kuva 27. Kourun sulkulaite /5/.

Kouruja on maassamme käytetty toistaiseksi vain sisätiloissa, materiaaleina lasikuitumuovi, pelti sekä puu. Ulkokasvatustiloissa kouru rakennetaan puusta, teräksestä tai betonista, koska kourun koko on tavallisesti niin suuri, että se vaatii vahvan materiaalin. Kouru voidaan tarvittaessa lämpöeristää ja kattaa, mikä estää esimerkiksi syksyllä putoavien lehtien joutumisen vesiteihin. Kourussa vesi ilmastuu pyörteillesään.

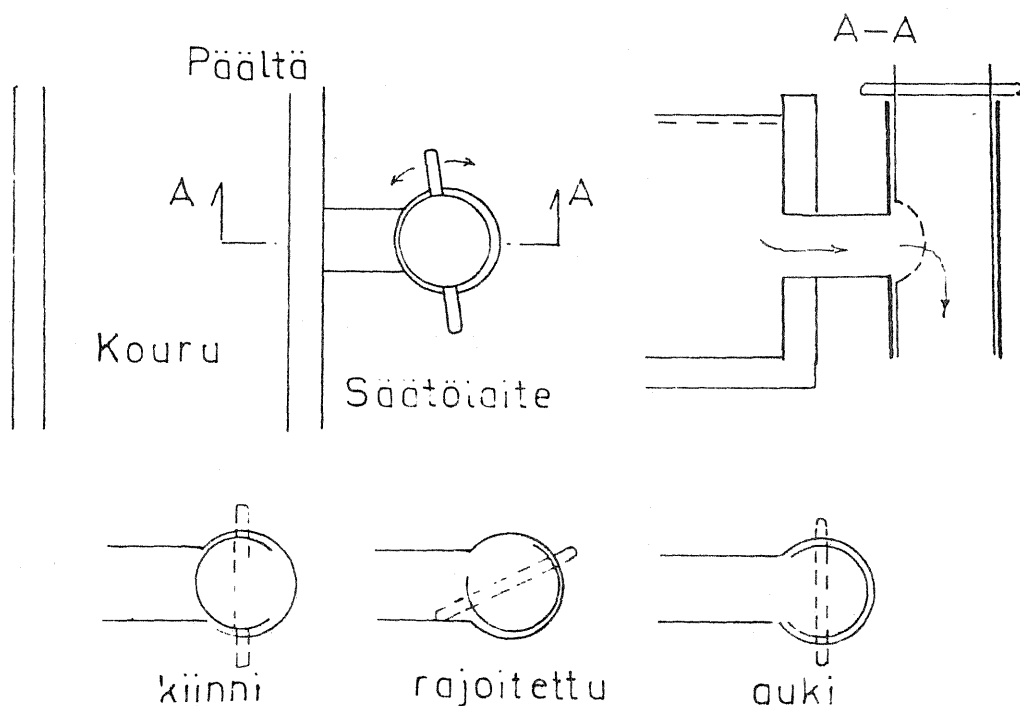


Ilmastuslaitteita voidaan helposti käyttää kourun yhteydessä. Kourulla saadaan tasainen paine koko vesilinjalle, jolloin virtauksen säätäminen altaisiin helpottuu. Kouru varustetaan ylivuotoreunalla. Kuvassa 28 on esitetty eräs puukourun poikkileikkaus.

Vedentulo altaisiin säädetään tavallisimmin venttiileillä. Kouruvaihtoehto mahdollistaa yksinkertaisempien ja halvempien säätölaitteiden (kuva 29) käyttämisen. Avokanavasta vesi johdetaan usein kasvatusaltaaseen luukkupadon kautta tai putkella, jossa on sulkumahdollisuus. Tällöin virtaama säädetään altaan vedenpoistolaitteen avulla.



Kuva 28. Puisen vesikourun poikkileikkaus.



Kuva 29. Virtaaman säätölaite kourussa.

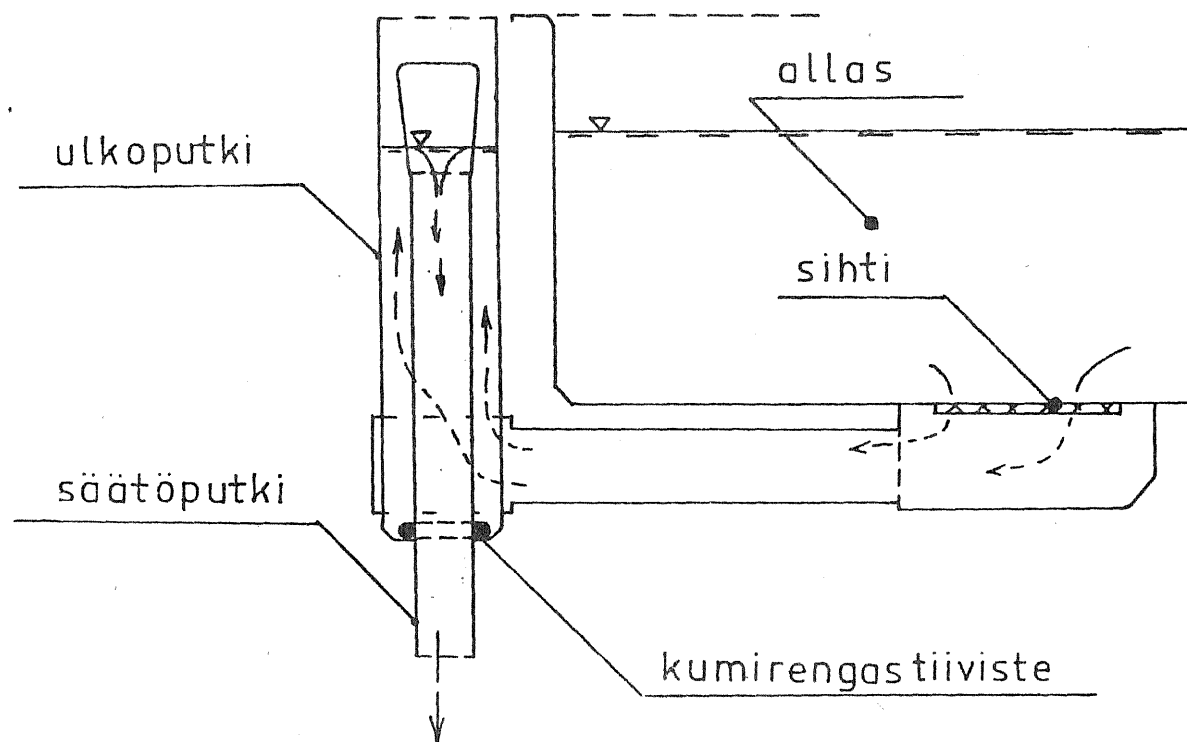
#### 4.62 Poisto

Veden poisto sisäkasvatustiloista on yleensä järjestetty lattiaan valettujen poistokourujen avulla. Ulkona tavallisin tapa on maakanava, jossa usein myös pidetään kaloja. Virtaus on tavallisesti niin verkkaista, että altaista poistuva jäteaine laskeutuu poistouomaan, josta aikaa myöten ravinteet liukenevat ja joutuvat vesistöön. Tässä mielessä tulee tutkia mahdollisuuksia hoitaa poistovesitys joko putkilla tai kouruilla, joilla saadaan riittävä virtausnopeus, jotta jäte laskeutuu vasta varsinaisessa puhdistuslaitteessa. Tarkemmin luvussa 8.

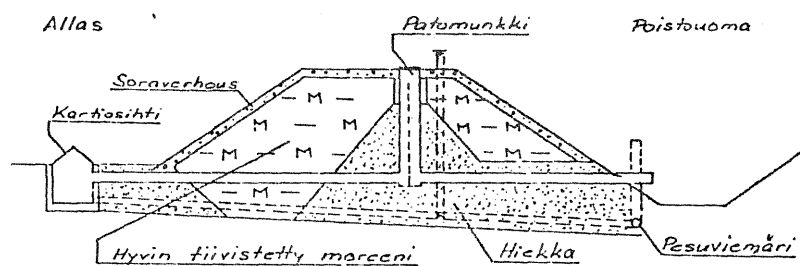
Poistolaitteina lasikuitualtaissa käytetään nykyisin lähes yksinomaan teleskooppiperiaatteella toimivaa rengasyliysyökyä, jollainen on esitetty kuvassa 30. Maa-altaissa käytetään munkkia tai tavallista yliysyöpatoa. Munkki on vaakaputken ja patokaivon yhdistelmä, jossa vedenpinnan säätäminen tapahtuu kaivossa settien avulla. Munkin patokaivo voidaan asentaa joko allaspenkereen sisään tai vapaasti seisomaan altaaseen. Altaan luiskaan asentamista tulee välttää, koska toispuoleinen maanpaine ja routa saattavat aiheuttaa vaurioita. Materiaalina on käytetty muovia, betonia, terästä ja puuta.

Kuvissa 31 ja 32 on esitetty penkereen sisään ja altaaseen asennetut munkit.

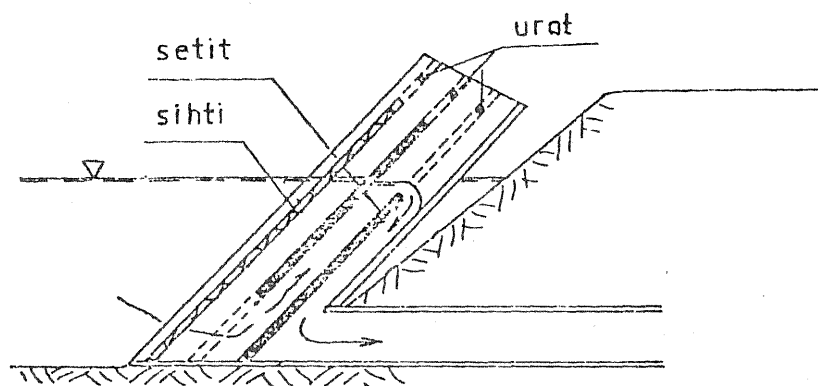
Yliysyöky on tavallisin ratkaisu kirjolohialtaassa, jossa virtaama on suuri. Pato varustetaan sihdillä tai välpällä, jonka sauvojen vapaa väli saadaan pienimmän altaassa pidettävän kalan koon mukaan jakamalla kalan pituus arvolla 20. Veden virtausnopeus sihdin kohdalla tulee olla alle 0,5 m/s. Altaassa ei nopeus luonnollisestikaan saa olla näin suuri.



Kuva 30. Teleskooppipoistolaite altaaseen asennettuna.



Kuva 31. Penkereen sisään asennettu poistomunkki.



Kuva 32. Altaassa vapaasti seisova kallistettu munkki.

#### 4.7 Veden käsittely

Vedenlaatu ei aina ole sellaista, että se suoraan olisi kelvollista käytettäväksi kalanviljelyssä, vaan sen laatua on parannettava eri keinoin. Vaikeuksia saattaa olla lämpötilan, hapenpuutteen, vedessä olevan humusaineksen ym. suhteen. Tavallisimmat käsittelytavat ovat ilmastus, suodatus ja lämpötilan säätäminen.

##### 4.71 Ilmastus

Hapen vajausta esiintyy tavallisimmin loppukesällä vesien ollessa lämpimiä, jolloin vedessä oleva plankton kuluttaa pimeänä aikana voimakkaasti happea sekä kevättalvella, kun luontaisista ilmastumista ei pääse jääpeitteen vuoksi tapahtumaan. Ensiksi mainittu tapaus on yleinen varsinkin rehevissä vesistöissä. Näiden lisäksi ilmastus on tarpeen veden lämpötilan noustessa yli  $20^{\circ}\text{C}$ , koska tällöin liuenneen hapen pitoisuus laskee alle lohikalojen vaatiman 9 mg/l.

Ilmastus voi kohdistua joko itse viljelyveteen, joko yksittäisen kala-altaan veteen tai vedenottovesistöön.

Ilmastuksen tehokkuus energiayksikköä kohden riippuu ainakin seuraavista tekijöistä /22/:

- ilmastettavan veden alkuhappipitoisuus
- veden lämpötila
- ilmastussyvyys (paine)
- putouskorkeus
- turbulenssin voimakkuus

Kun liuenneen hapen määrä vedessä on pienempi kuin kyllästysarvo  $C_o < C_s$ , tapahtuu veden ja ilman vapaalla rajapinnalla hapen liukenemista veteen. Tämä voidaan esittää kaavalla /22/:

$$\frac{dm_{O_2}}{dt} = K \times F \times \frac{C_s - C_o}{C_s}, \text{ jossa}$$

$K$  = hapetuskerroin ( $g\ O_2/m^2 \times s$ )

$F$  = rajapinta ( $m^2$ )

$(C_s - C_o) / C_s$  = suhteellinen hapenvajaus

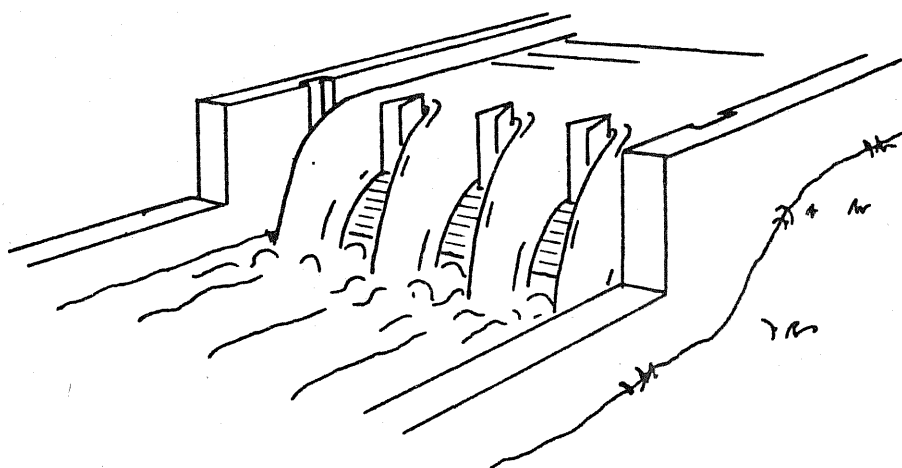
Hapetuskerroin  $K$  riippuu ensisijaisesti veden turbulenssista. Tästä syystä eri menetelmillä pyritään siihen, että veden pyörteilläessä rajapinnat jatkuvasti uusiutuvat ja että niitä syntyy jatkuvasti. Paineellisesti hapetettaessa tämä tarkoittaa, että käytetään paljon pieniä kuplia ja putouksessa, että putoava vesi hajoaa pieniksi pisaroiksi.

Mitä lähempänä kyllästysarvoa (100 %) veden happipitoisuus on, sitä suurempi on tehontarve nostettaessa pitoisuutta yksikön verran. Likimääräinen tehontarve eri happipitoisuuksilla on seuraavanlainen:

$O_2$ (mg/l)	$O_2$ (mg/l)	Tehontarve (yksikköä)
1	1	1
4	1	1,8
9	1	9

Putoava vesi tempaa mukaansa ilmaa, josta osa liukenee vesisäikeen sukeltaessa alärveteen. Ilmastumista voidaan tehostaa asentamalla ylisyöksykynnyksen virtauksen hajoittimet, jotta syntyy useampia ilman ja veden rajapintoja (kuva 33). Samassa putouksessa saavutetaan yleensä parempi ilmastustulos, mikäli vesi putoaa portaittain /22/.

Vesi johdetaan altaisiin yleensä niiden vedenpinnan yläpuolelta, jolloin suihku sukeltaessaan altaaseen tempaa ilmaa mukaan. Ilmastusta voidaan tehostaa esimerkiksi johtamalla suihku päin levyä, jossa se hajoaa ympäriinsä saaden suuremman kosketuspinnan ilman kanssa.



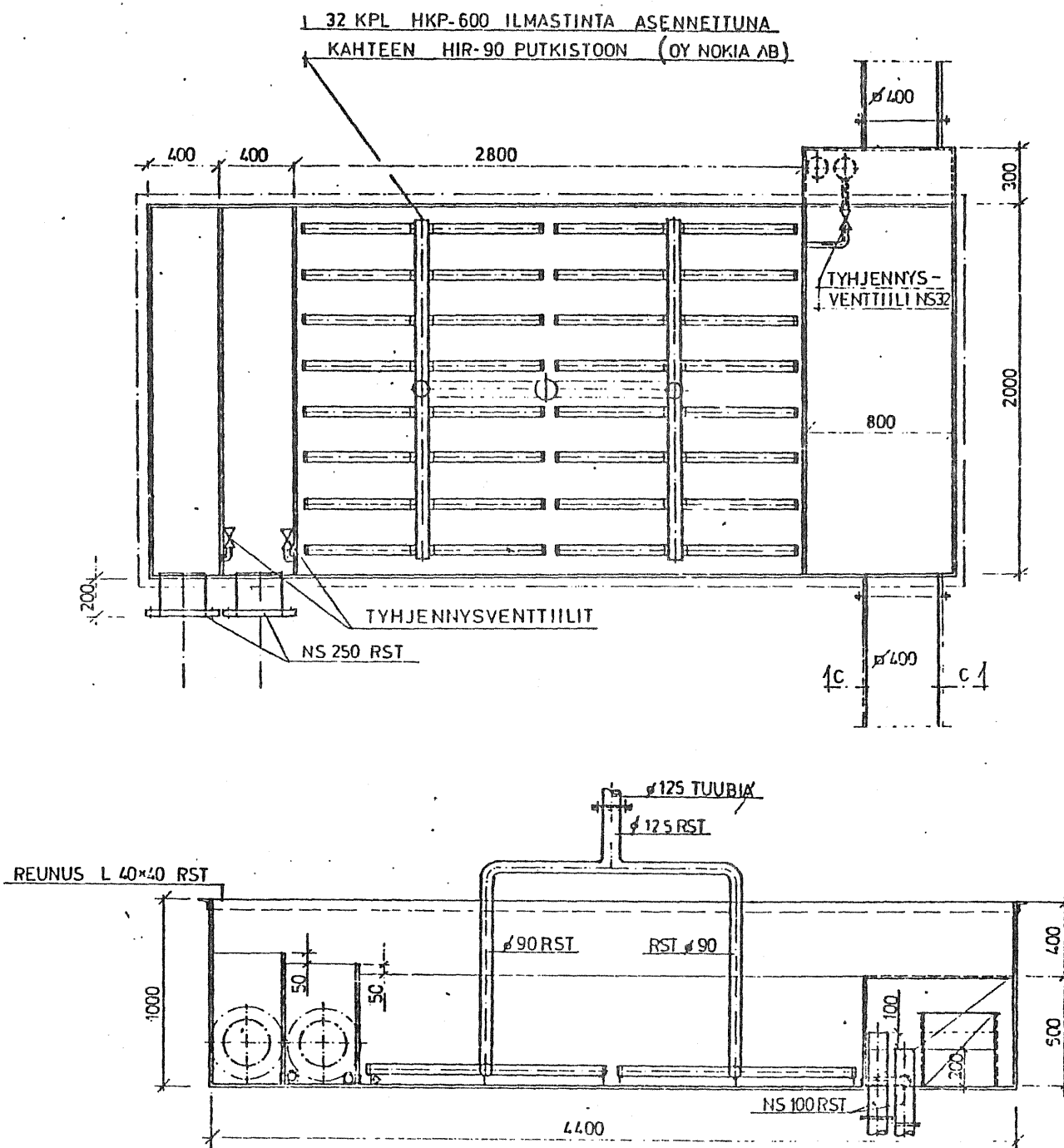
Kuva 33. Ilmastusporras.

Tanskalaisilla kirjolohilaitoksilla käytetään yleisesti puhdasta happea veden happipitoisuuden lisäämiseksi. Happi syötetään veteen mahdollisimman pieninä kuplina noin 4 metrin syvyydessä. Puhtaan hapen käytöllä ei ole vaaraa typen ylikyllästyksestä hapetusvaiheessa, joskaan sillä ei pystytä poistamaan mahdollista ylikyllästynyttä typpeä viljelyvedestä, kuten eräillä muilla laitteilla. Hapen syöttö voidaan tehdä automaattiseksi siten, että tulevan veden happipitoisuuden laskiessa tietyn rajan alapuolelle laitteisto alkaa toimia ja se lopettaa hapen syötön kun vaadittu pitoisuusraja on jälleen saavutettu.

Suomessa ei vastaavaa menetelmää ole käytössä. Guttorpin kalanviljelylaitoksella on kriisitilanteen, veden tulon katkeamisen, varalle asennettu kiinteät happiputkistot, joista saadaan nopeasti hapetuslaite jokaiseen altaaseen tarvittaessa.

Sarmijärven kalanviljelylaitoksella on varauduttu ilmastamaan käyttövesi (350 l/s) kuvassa 34 esitetyllä ilmastusaltaalla. Vesi kulkee pohjalle asetettujen hienokuplailmastusputkien yli. Paine voidaan kehittää joko kompressorilla tai puhaltimella. Ilmastussyvyys on noin 0,8 m.

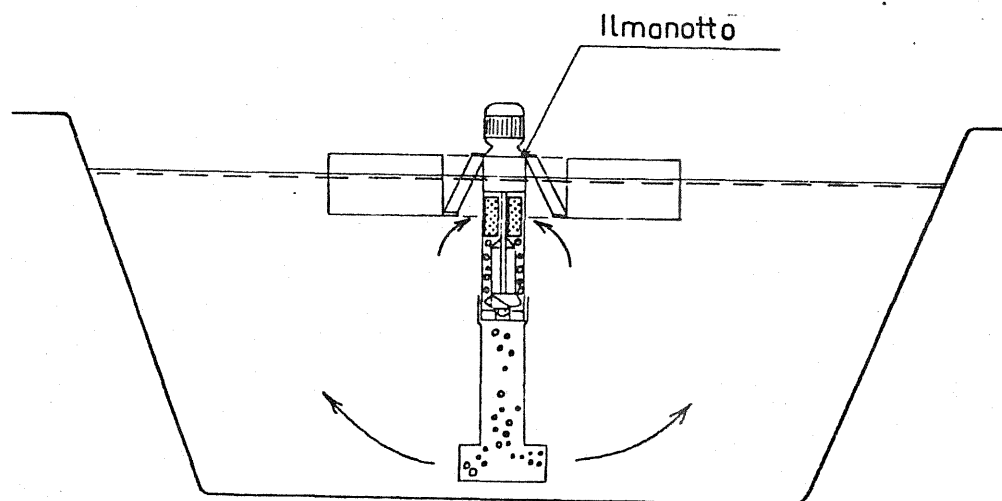
Hienokuplailmastimia voidaan myös asentaa itse kala-altaisiin.



Kuva 34. Sarmijärven kalanviljelylaitoksen ilmastusallas.

Kotimaisen Hydixor-ilmastimen soveltamista kalanviljelyssä on viimeaikoina tutkittu,

Laitteella kierrätetään vettä pystysuoran putken läpi ilman imeytyessä potkurin aiheuttaman alipaineen ansiosta virtaavan veden sekaan (kuva 35). Laitteella voidaan ilmastaa keskiteysti koko tuleva vesi tai hajautetusti yksittäisissä altaissa. Minimisyyvyys altaassa tulee olla pienimmällä laitteella noin 0,8 m.



Kuva 35. Kotimainen Hydixor-ilmastuslaite /32/.

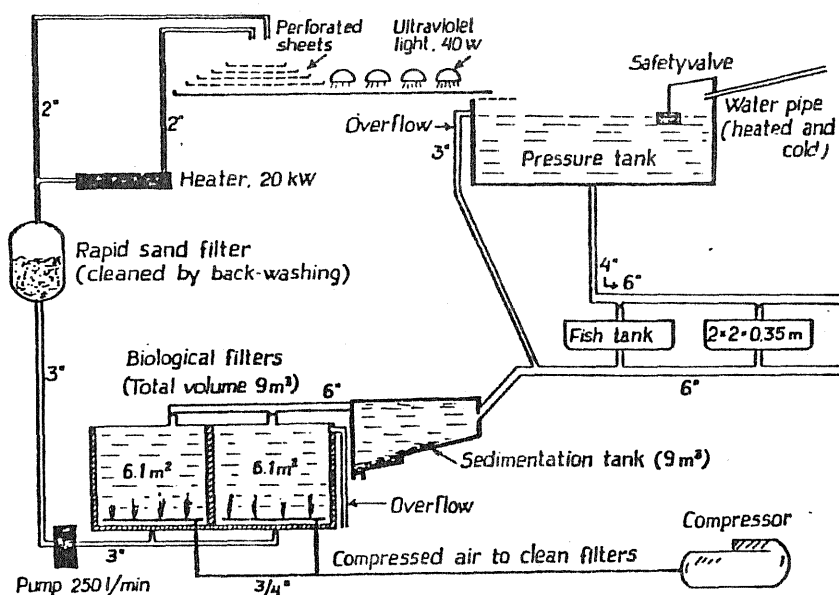
#### 4.72 Suodatus

Vedessä oleva kiintoaine, humus, savisameus haittaa kalanviljelytoiminnassa eniten haudontaa, koska se estää mädin hapensaannin tarttuessaan mätimuniin. Tällöin haudontavesi on suodatettava ja tarvittaessa käsiteltävä ennen suodatusta myös kemiallisesti. Suodatukseseen on käytetty mitä moninaisimpia laitteita. Vettä on johdettu erilaisten hiekkasuodatinten, kankaiden, vahtokumin ja lasivillan läpi. Vaikeutena on usein suodattimen nopea tukkeutuminen.

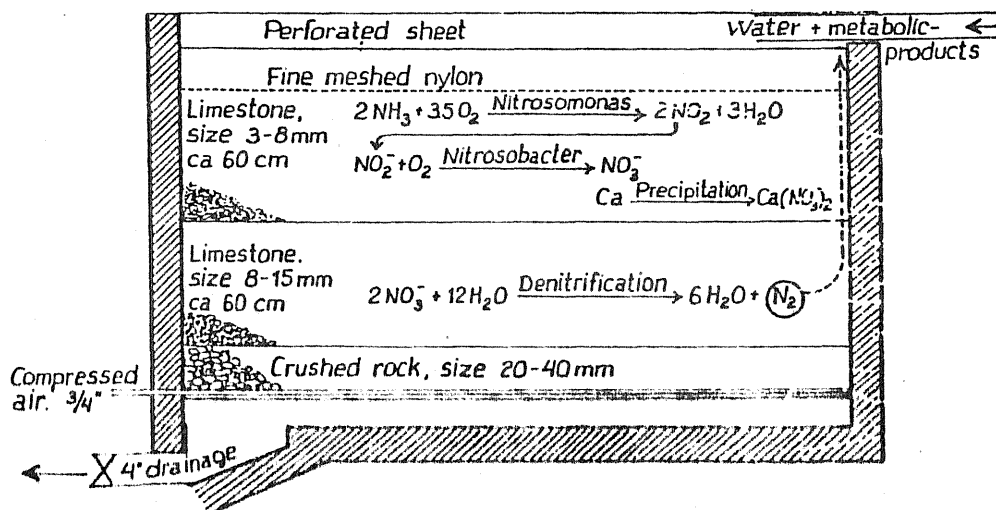
Ulkomailla on pyritty kehittämään laitoksia, joissa olisi osittain suljettu vedenkierrätysjärjestelmä. Menetelmää on tutkittu pääasiassa haudonnassa ja poikaskasvatuksessa. Koska veteen



joutuvat kala-altaista poikasten aineenvaihduntatuotteet sekä käyttämätön rehu, on vesi käsiteltävä laskeuttamalla ja suodattamalla sekä tuhoamalla kierrosta mahdolliset tautia aiheuttavat bakteerit. Viimemainittu tapahtuu ultraviolettisäteilyn avulla. Kuvissa 36 ja 37 on esitetty kiertojärjestelmä poikas- kasvatuksessa ja veden suodattukseen käytetty biologinen suodatin jolla aineenvaihdunnasta veteen tulevat ammoniumyhdisteet saadaan poistetuksi. Raikasta käyttämätöntä vettä käytetään noin 10 % koko kierrosta.



Kuva 36. Kiertovesitys poikaskasvatuksessa /3/.



Kuva 37. Biologinen suodatin kiertovesilaitoksella /3/.

#### 4.73 Lämpötilan säätäminen

Viljelyyn käytettävän veden lämpötilaolot ovat eräs laitoksen suunnitteluun eniten vaikuttavista tekijöistä. Tästä syystä ottovesistön tutkiminen on suoritettava huolellisesti. Suunnittelussa kiinnitetään ensisijaisesti huomio mahdollisuuksiin saada lämpötilan kannalta vaikeina aikoina sellaista vettä, joka täyttää vaatimukset. Veden happitilanne on usein korjattavissa kohtuullisin kustannuksin, mutta suuren vesimäärän lämpötilan keinotekoinen muuttaminen on kallista.

Eri viljelyvaiheissa tulee esille kriisitilanteita, jolloin lämpötilaa tulisi muuttaa. Tällaisia ovat esimerkiksi siian mädin haudonta, jossa yleensä tarvitaan keväisin mahdollisimman kylmää vettä, jotteivät poikaset kuoriudu liian aikaisin (vrt. kohta 3.1). Vastakuoriutuneiden lohenpoikasten totutusruokintavaiheessa lämpötilan tulisi nousta tasaisesti noin 10 - 15°C vaiheille. Äkillinen lämpötilan muutos (takatalvi) aiheuttaa sen, että poikaset lakkaavat käyttämästä ravintoa. Jos veden lämpötila voidaan pitää ympäri vuoden vähintään noin 10°C vaiheilla, nopeutuu kalan kasvu ja esimerkiksi lohen vaeluskokoinen poikanen, smoltti, voidaan tuottaa 1-2 vuodessa, kun se normaalisti maassamme kestää 3 vuotta.

Eräillä lajeilla mm. harmaa- ja isonieriällä lämpötilan nousu jo noin 20°C lukemiin aiheuttaa vaikeuksia.

Järvivesityksessä tulisi pyrkiä ottamaan vesi eri syvyyksiltä, lämpötilaltaan sopivimmasta kerroksesta.

Jos laitokselle on mahdollista saada käyttöön pohjavettä pyritään sen avulla keväisin siirtämään siian kuoriutumista ja hellekautena pitämään herkimpien kalojen altaat, kriittisen lämpötilan alapuolella.

Inarin kalanviljelylaitoksella on käytetty jäähdytyslaitetta haudontaveden lämpötilan alentamiseksi.

Kasvun nopeuttamiseksi on käytetty hyväksi mm. voimalaitosten jäähdytysvesiä. Olkiluodon ydinvoimalaitoksen yhteyteen on rakennettu kalanviljelylaitos, jonka tarkoituksena on tuottaa pääasiassa lohi-istukkaita. Vaikeutena ovat veden lämpiämistä aiheutuva typpikaasun ylikyllästymisen sekä voimalaitoksen seisokin aiheuttama käyttöveden jäähtyminen. Viime mainitun seurauksena kuolivat talvella 1981 lähes kaikki totutusruokintavaiheessa olleet lohenpoikaset Olkiluodon kalanviljelylaitoksella. Tällaisia tapauksia varten laitoksella tulisi olla varalämmitysjärjestelmä.

Veden lämpötilan kohottaminen vaatii suhteellisen suuren tehon mutta koska lämpötilan äkillinen muutos on haitallisin pienpoikasvaiheessa, voidaan lämmitettävä vesimäärä rajoittaa kohtuulliseksi. Yhden vesilitran lämpötilan kohottaminen yhdellä asteella sekunnissa vaatii 4,2 kW tehon. Seuraavassa taulukossa on esitetty tehontarve eri virtaamille ja 3°C ja 5°C lämpötilan nostolle sekä eri ikäisten kalanpoikasten mahdollinen kasvatusmäärä ilman veden uudelleen kierrätystä.

Taulukko 6. Tehontarve lämmitettäessä kalanviljelyvettä sekä mahdollinen kasvatusmäärä

Q l/s	P (kW)		ikä 3 v	3 kk	6 kk	12 kk
	t 3°C	5°C				
10	126	210	600 000	200 000	100 000	50 000
20	252	420	1 200 000	400 000	200 000	100 000
50	630	1 050	3 000 000	1 000 000	500 000	250 000

Mikäli vettä kierrätetään voidaan kasvatusmääriä lisätä. Tällöin vesi on kuitenkin käsiteltävä (vrt. kohta 4.72).

## 4.8 VESITYSESIMERKKEJÄ

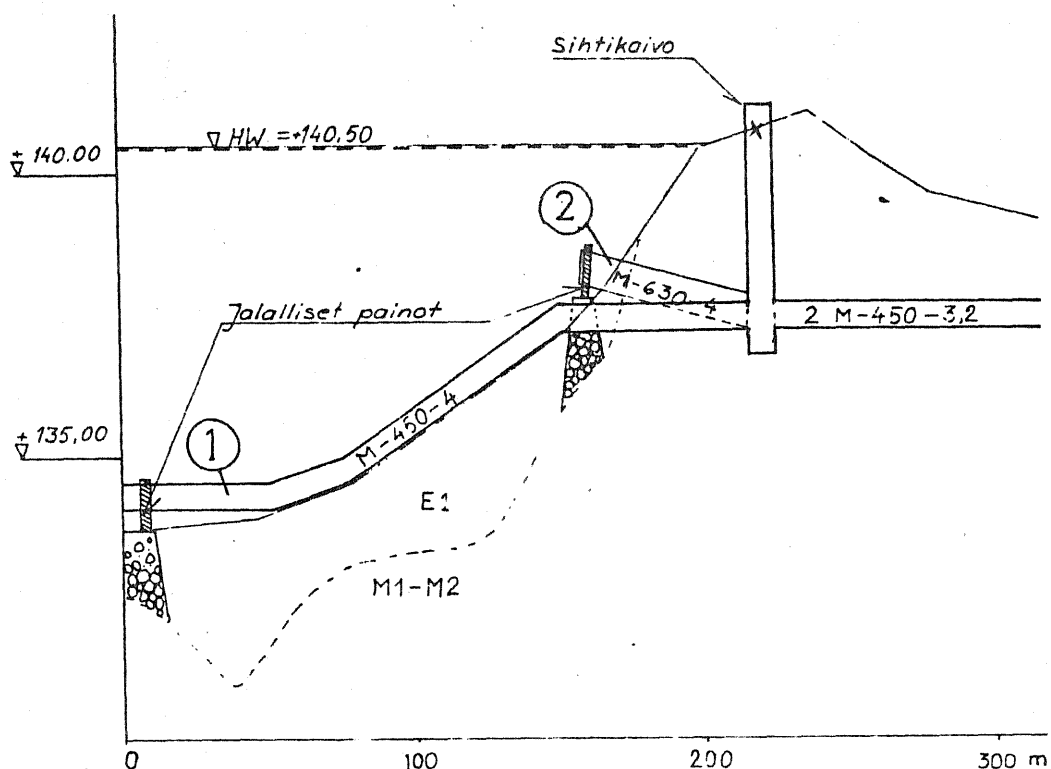
### 4.8.1 Sarmijärven kalanviljelylaitos

Sarmijärven kalanviljelylaitos valmistui Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen käyttöön vuonna 1980 Inarin Sarmijärvelle.

Laitoksen pääasiallinen tarkoitus on Inarinjärven hoitovelvoitteen toteuttaminen. Laitos tuottaa tätä tarkoitusta varten 70 000 harmaanierin 3-vuotiaista istutuskokoista poikasta (100 - 120 g) ja hautoo pohja- sekä plankton siian mätää. Laitoksella on näiden lisäksi järvitaimenta ja isonieriää. Käytettävissä olevan veden ja viljelytilojen puolesta laitos pystyy nostamaan tuotantonsa ainakin kaksinkertaiseksi nykyhetkeen nähden.

Vedenhankinta tapahtuu kahdella putkella Sarmijärvestä (kuva 38) jonka pinnasta on käytettävissä painekorkeutta kasvatushallin kouruihin noin 13 m ja ulkokasvatustiloihin lähes 20 m. Vedenjohtomatka on noin 1,7 km. Laitoksen vedenkäyttö on 350 l/s, joka voidaan nostaa 500 l/s kesäaikana. Yhden putken kautta voidaan johtaa käyttöön arvion mukaan koko käyttövesimäärä 350 l/s. Ottovesistön, Sarmijärven ja purkuvesistön, Sarmilompolon, välinen korkeusero on noin 20 m.

Vedenottolaitteet on esitetty kuvassa 39. Ottoputkista vesi kulkee sihtikaivoon, johon on asennettu urat seteille.



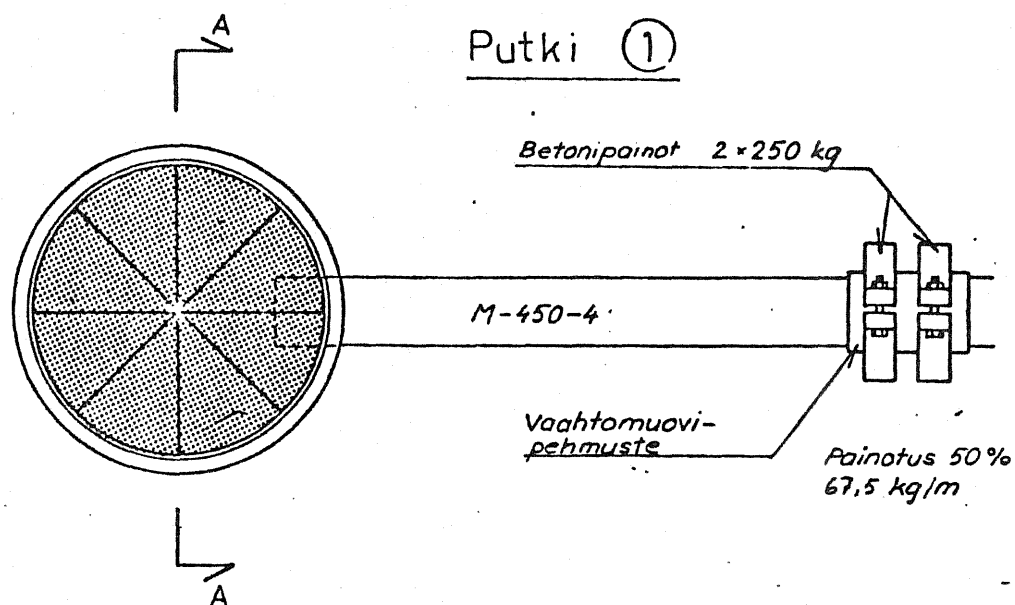
Kuva 38. Sarmijärven kalanviljelylaitoksen vedenottoperiaate.

Ulkokasvatustiloihin vesi johdetaan silmukkaperiaatteella ja, altaisiin saadaan kumpaakin kautta niiden tarvitsema virtaama. Putket on upotettu maahan ja altaisiin menevät haarat on varustettu sulkuventtiilein (kuva 42).

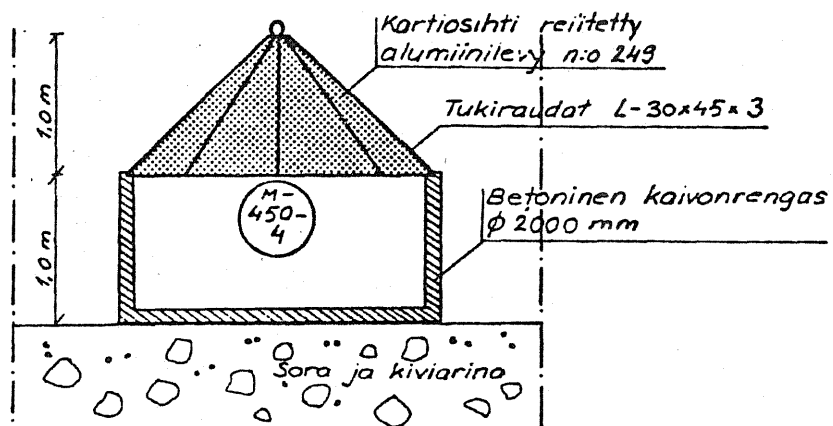
Maa-altaista vesi poistuu penkereen sisään asennetun muovirakenteisen munkin kautta ja johdetaan maakanavaa myöten alapuoliseen Sarmilompoloon.

Kasvatushallin vesitys on esitetty kuvassa 40. Vesi tulee kahdella putkella ilmastusaltaaseen, josta edelleen kattoon ripustettuihin jakelukouruihin, joiden poikkileikkaus on 400 mm x 400 mm. Koska putkessa vaikuttaa usean metrin paine liukenee veden mukana mahdollisesti kulkevista ilmakuplista typpikaasua, joka on saatava poistetuksi ennen veden jakelua kala-altaisiin. Toistaiseksi laitoksella ei ole havaittu typpiongelmia eikä hapenvajausta joten ilmastusta ei ole tarvittu. Ilmastusallas on esitetty kuvassa 34.

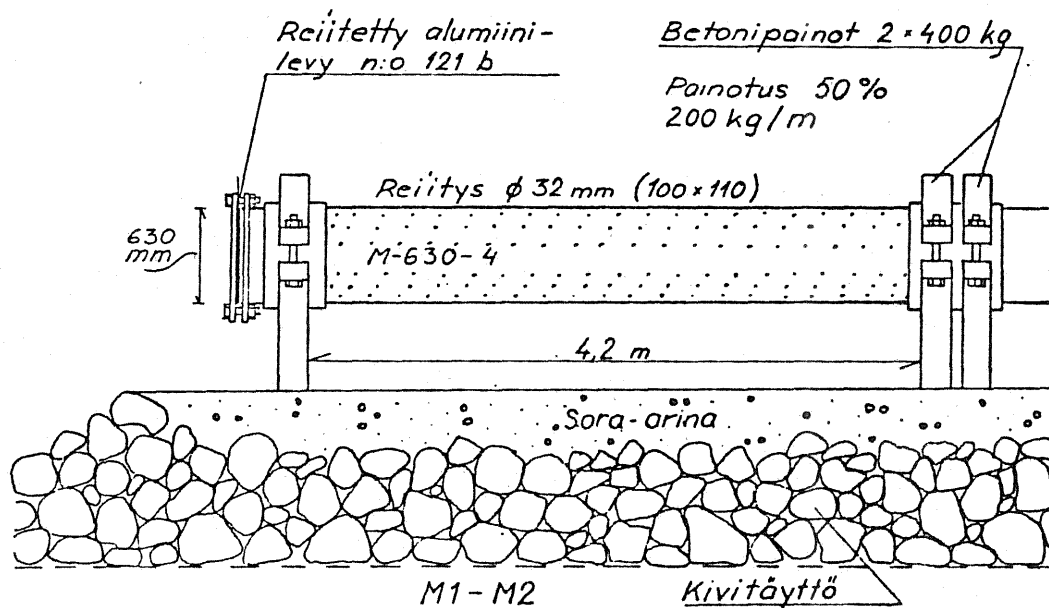
## Putki ①



## Leikkaus A-A



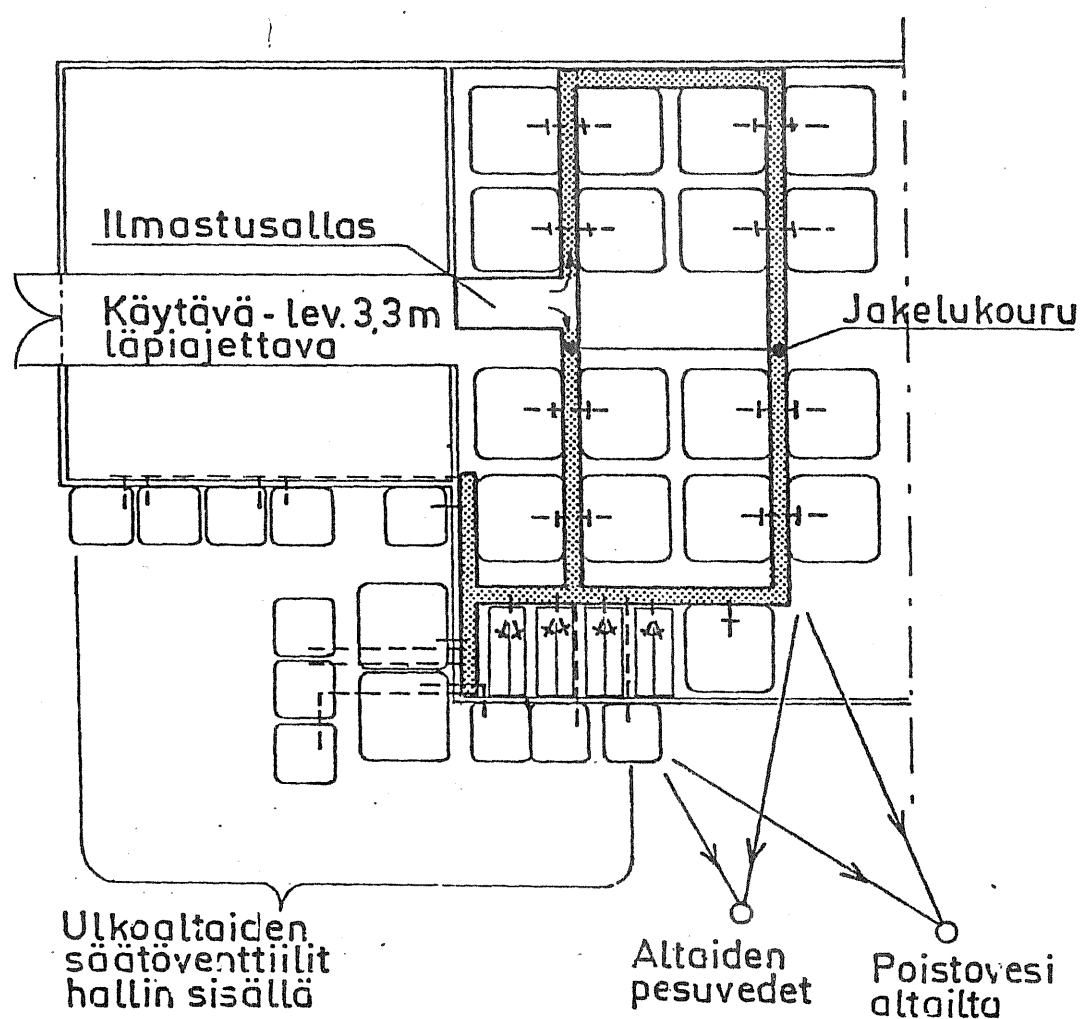
## Putki ②



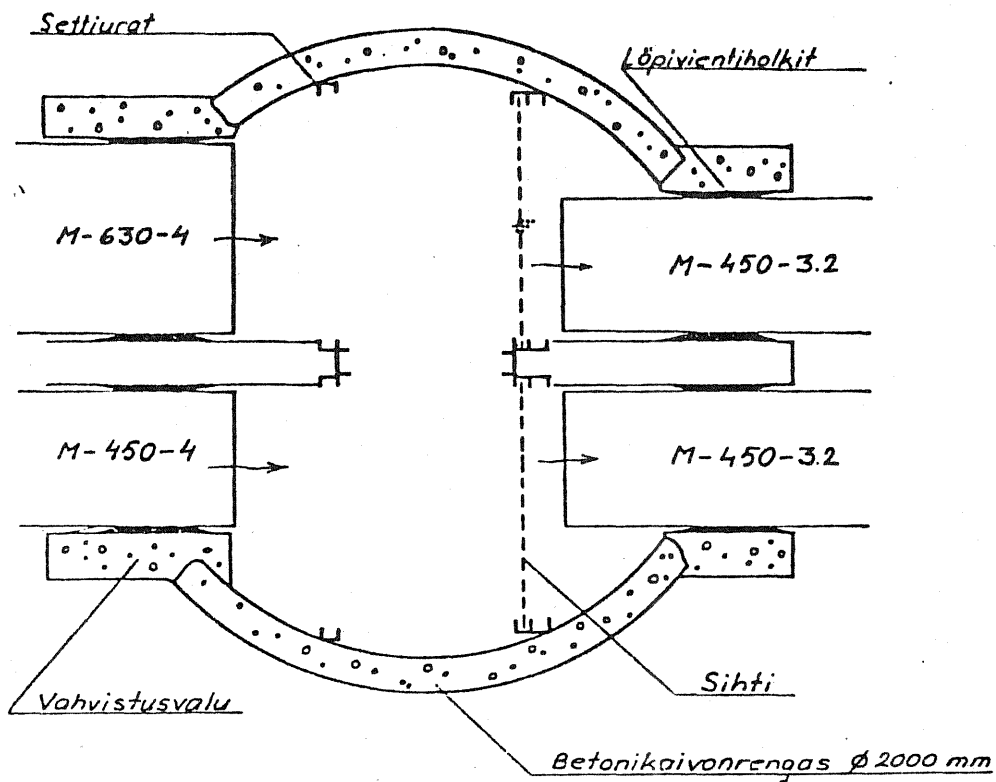
Kuva 39. Vedenottolaitteet.

Kattoon sijoitetun vesityskourun ansiosta on pystytty välttämään vesilinjojen ja liikenteen risteämät ja samalla on säästetty tilaa. Jakelukouru muodostaa silmukan, joten siitä saadaan tarvittaessa eristetyksi tarvittava osa huolto- ja puhdistustöitä varten.

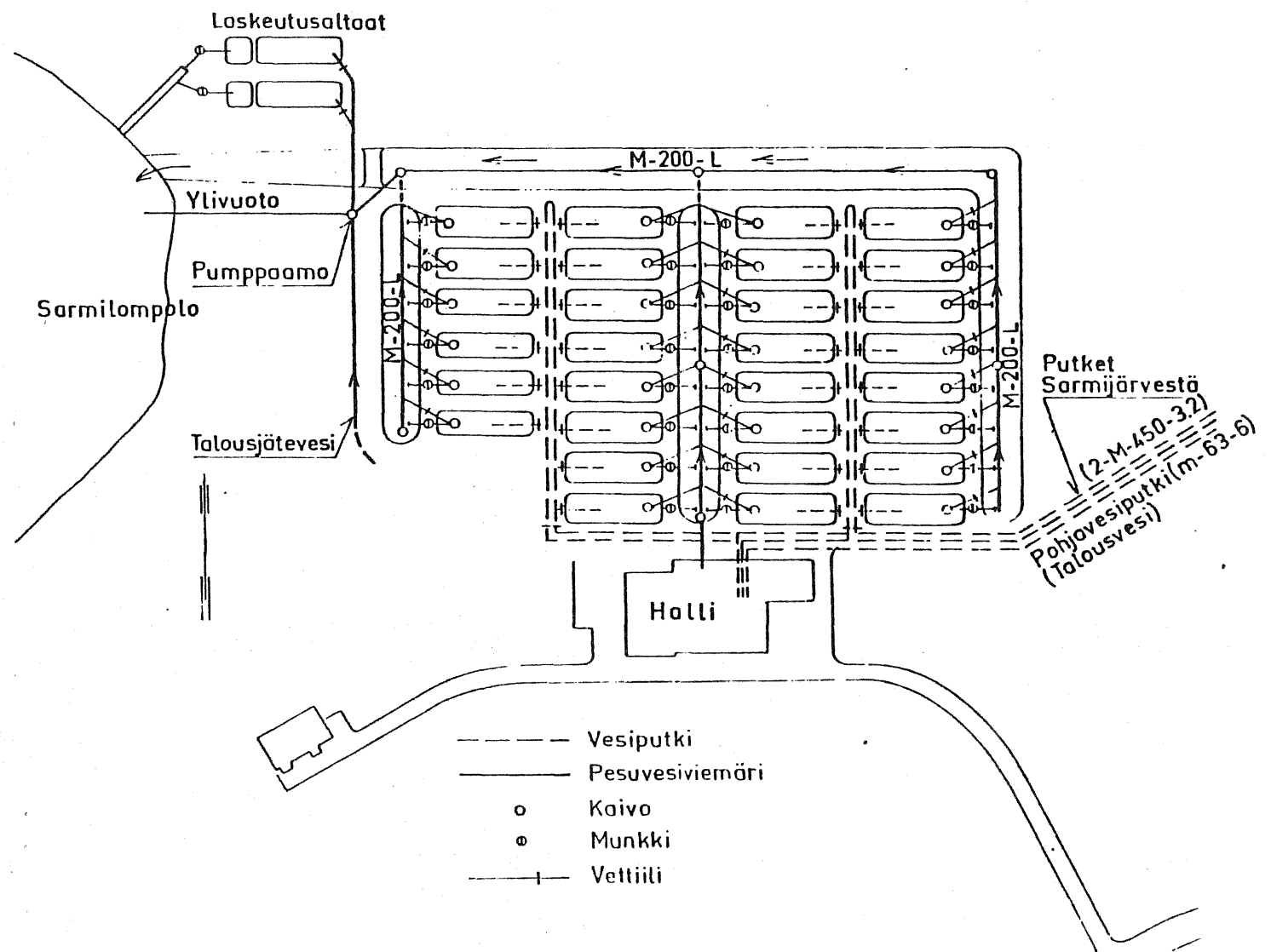
Altaiden pesuvedet viemäroidään ja johdetaan pumppaamon avulla laskeutusaltaisiin. Järjestelyt on esitetty tarkemmin kohdassa 8.34.



Kuva 40. Kasvatushallin vesitys.



Kuva 41. Sihti- ja sekoituskaivo.



Kuva 42. Sarmijärven kalanviljelylaitoksen maa-allasalueen vesitys.



#### 4.82 Gutterpin kalanviljelylaitos

Gutterpin kalanviljelylaitos sijaitsee Sundin kunnassa Ahvenanmaalla noin 25 km Maarianhaminasta koilliseen. Laitos otettiin käyttöön vuonna 1979. Laitoksen tuotanto on tällä hetkellä 100 000 kaksivuotiaista lohta ja noin 30 000 meritaimenta. Lisäksi haudotaan siikaa ja haukea. Viime vuonna istutettiin 500 000 vastakuoriutunutta siian poikasta Ahvenanmaan vesiin. Laitoksen omistaa Ahvenanmaan maakuntahallitus.

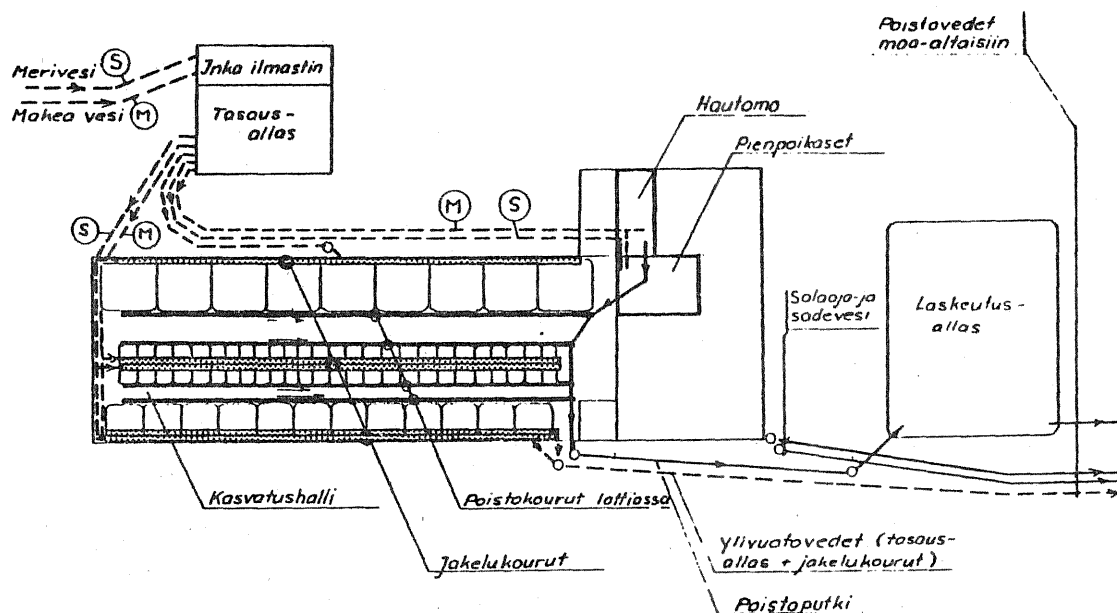
Käyttövedeksi pumpataan suolaista merivettä 120 l/s noin 1 km etäisyydeltä ja makeata vettä 92 l/s noin 0,5 km etäisyydeltä. Käytössä on merivedelle kaksi 75 kW tehoista ja makealle vedelle kaksi 45 kW tehoista pumppua. Nostokorkeus on molemmissa tapauksissa noin 22 m. Pumppauskustannuksiksi on laskettu 80 penniä istutettua lohenpoikasta kohden, tällöin ei ole otettu huomioon muita lajeja.

Koska vedentulon katkeaminen voi aiheuttaa huomattavat taloudelliset menetykset on laitoksen toimintavarmuuteen kiinnitetty erityistä huomiota. Pumppuvaurion sattuessa korvataan makea vesi merivedellä tai päinvastoin, samalla altaille menevää virtaamaa pienennetään. Tämän lisäksi on varauduttu hapettamaan jokaisen altaan vesi katkoksen aikana siten, että allasriveihin kiinteästi asennettuun happiputkistoon liitetään pikaliittimin varustetut hapensyöttölaitteet. Sähkökatkosten varalta laitoksella on kaksi dieselgeneraattoria.

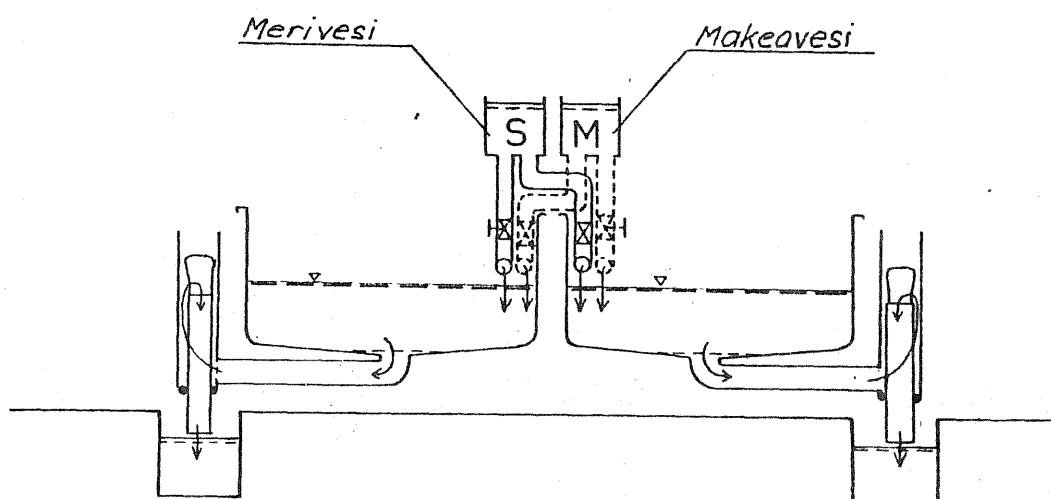
Käyttövesi pumpataan tasausaltaiseen, jossa se voidaan ilmastaa "Inka"-ilmastimella. Täältä se johdetaan putkilla hallitiloihin, jossa jakelu on järjestetty pääosin vesikouruilla (kuva 43), poikkeuksena ainoastaan haudontakaukalot.

Makea ja merivesi johdetaan altaisiin erillisiä linjoja pitkin, joten makean ja suolaisen veden osuudet voidaan säätää allas-kohtaisesti lukuun ottamatta suurempia, 36 m<sup>2</sup> altaita, joille johdetaan vain merivettä. Käyttöhäiriötilanteessa näihinkin altaisiin voidaan ottaa makeata vettä. Kuvassa 44 on esitetty

poikkileikkaus allasrivistä tulo- ja poistovesityksineen.



Kuva 43. Guttorpin kalanviljelylaitoksen kasvatushallin vesitysperiaate.



Kuva 44. Poikkileikkaus kasvatushallin allasrivistä.

Altaista vesi johdetaan lattiakouruihin ja edelleen putkella laskeutusaltaaseen. Täältä se viedään maa-altaisiin toiskertaiseen käyttöön. Maa-altaisiin johdetaan myös tasausaltaan ja jakelukourujen ylivuotovedet sekä sade- ja rakennusten salaojitusvedet.

Käytetty vesi johdetaan mereen 4,5 km mittaisen ojan ja muutamaman pienen järven kautta. Tällä matkalla se ehtii jo puhdistua tehokkaasti.

#### 4.84 Nilakkalohi Oy:n kalanviljelylaitos

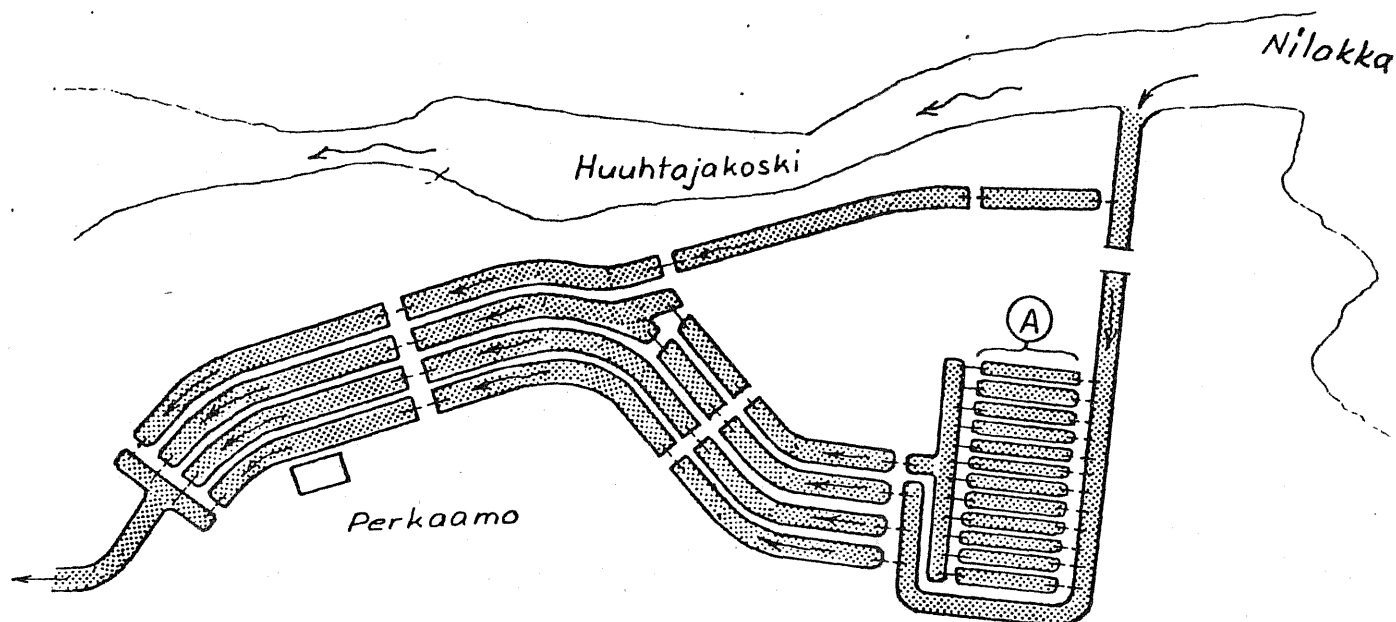
Laitos sijaitsee Nilakkajärven luusuassa Tervossa. Se tuottaa pääasiassa kirjolohta. Laitoksella kasvatetaan lisäksi Nevan lohta sekä järvi- ja meritaimenta istutettavaksi. Laitoksen kokonaislisäkasvu oli vuonna 1980 290 000 kg. Laitos pyrkii lisäämään lohismolttien tuotantoa voimakkaasti, jota varten sillä on tytäryhtiöidensä Maaningan Lohi Oy:n ja Hatsinan kalalaitos Oy:n kalanviljelylaitokset, joissa tuotetaan kasvatuksen tarvitsemat pienpoikaset.

Ruokinta hoidetaan traktorivetoisen vaunun avulla, johon laitoksen selkeä suunnittelu on luonut hyvät edellytykset. Teuraskalan käsittelyä varten on rakennettu perkaamo ajanmukaisine kylmä- ja pakastustiloineen.

Laitos saa vesioikeuden lupapäätöksen mukaan käyttää vettä 4,5 m<sup>3</sup>/s. Huuhtajankosken putous on 1,2 m, jonka laitos käyttää hyväkseen.

Kuvassa 45 on esitetty laitoksen altaikat. Altaat ovat maauoma-altaita, joihin vesi johdetaan maakanavia myöten. Altaat on sijoitettu maanpinnan korkeussuhteita myötäillen. Ryhmässä A pidetään poikaset (toisen vuoden kasvatus). Virtaussuuntaan nähden alemmissa altaissa kasvavat kirjolohet teuraskokoon, lajiteltuina siten, että koon kasvaessa ne lähestyvät perkaamoa. Poistovesille on rakennettu laskeutusallas.

Koska vesi käytetään moneen kertaan on helleajan kriisitilanteiden varalta varauduttu ilmastamaan vesi altaikon keskikohdalla.



Kuva 45. Nilakkalohi Oy:n kalanviljelylaitoksen maa-altaikko.

## 5. VESITYKSEN HYDRAULISET PERUSTEET

Seuraavaan on koottu kalanviljelylaitoksen suunnittelussa tavallisimmin tarvittavat hydrauliiikan perusteet kiinnittäen huomio käytäntöönsoveltamisen helppouteen. Tästä syystä on käytetty paljon kuvaajia, joista usein saadaan suoraan esimerkiksi häviökertoimien arvot. Koska kalanviljelylaitoksen vesityksen mitoituksessa yleensä on puute putouskorkeudesta, tulee suunnittelijan muistaa ottaa huomioon kaikki vähäiseltäkin tuntuvat virtaushäviöt käyttöhäiriöiden välttämiseksi.

### 5.1 Bernoullin energiayhtälö

Bernoullin yhtälö ideaalinesteelle on

$$h_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} .$$

Todellisen nesteen sitkeys ja kitkavoimat vastustavat kuitenkin virtausta, joten osa energiasta muuttuu lämmöksi: Virtauksessa syntyy energiahäviö  $H$ .

Avouoman poikkileikkauksessa virtausnopeus on jakautunut epätasaisesti. Todellinen nopeuskorkeus ilmaistaan tällöin

$$\alpha \cdot \frac{v^2}{2g} ,$$

missä  $\alpha = 1,03 \dots 1,36$

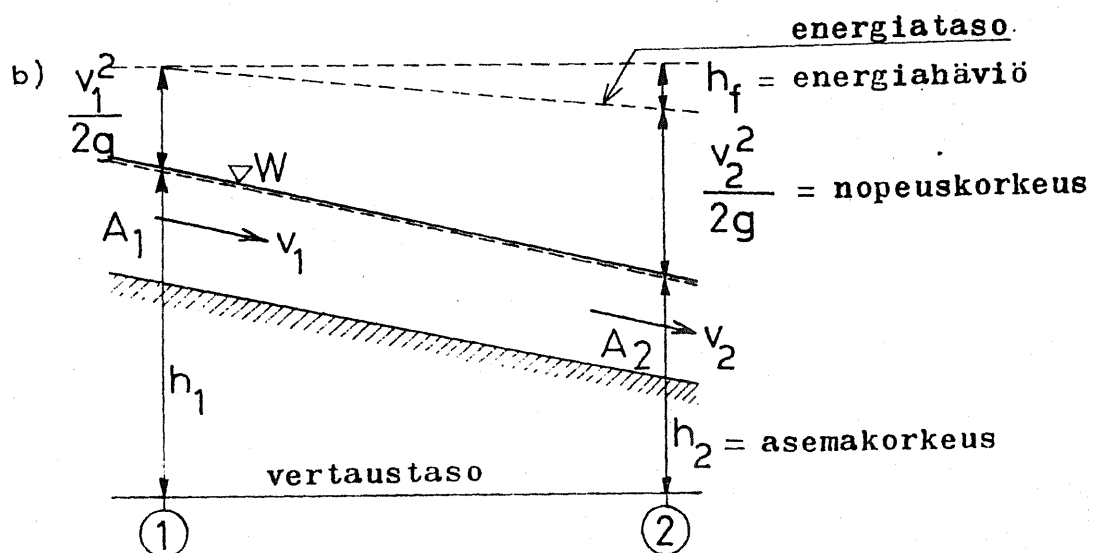
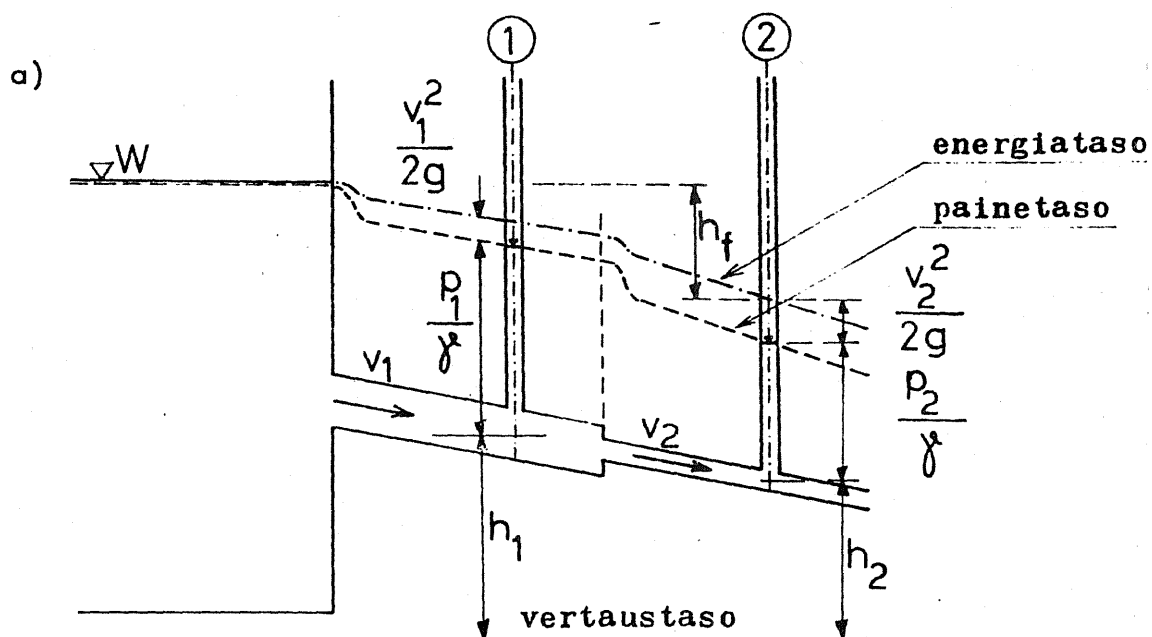
Likimääräisissä laskelmissa tyydytään usein arvoon  $\alpha = 1,0$ . Näin ollen Bernoullin yhtälö todellisen nesteen virtaukselle putkessa on

$$h_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + \Delta H \quad (1)$$

ja avouomassa

$$h_1 + \alpha_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \alpha_2 \cdot \frac{v_2^2}{2g} + \Delta H \quad (2)$$

Merkinnät käyvät ilmi kuvasta 46.



Kuva 46. Bernoullin energiayhtälö a) putkijohdossa ja b) avouomassa.

## 5.2 Putkivirtaus

Putkivirtausta luonnehtii Reunolds'in luku

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} \quad (3)$$

Tässä  $d$  = putken halkaisija ja  $\nu$  = nesteen kinemaattinen viskositeetti, joka vedellä riippuu lämpötilasta seuraavasti:

$t^{\circ}C$	4	10	15	20
$\nu m^2/s$	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$1,3 \cdot 10^{-6}$	$1,15 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$

### 5.21 Kitkahäviöt

Kitkahäviö  $h_f$  saadaan Darcy'n kaavasta

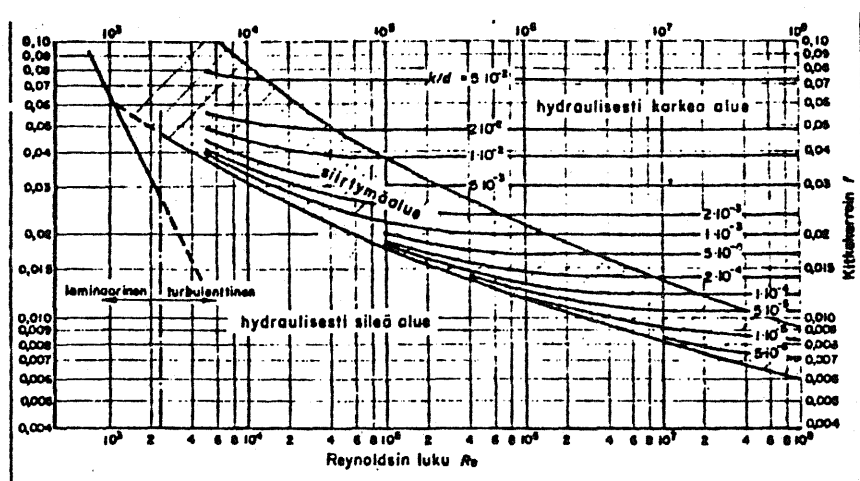
$$h_f = f \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (4), \text{ jossa } .$$

$f$  = kitkahäviökerroin,  $L$  = putken pituus ja  $d$  = putken halkaisija.

Häviökerroin  $f$  saadaan Colebrookin kaavasta, joka pätee kun putkessa vallitsee turbulентtinen virtaustila eli kun  $Re > 2400$ . (kuva 47).

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \frac{k/d}{3,7} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \quad (5)$$

Samassa putkessa voi esiintyä sekä sileän että karkean alueen virtausta virtausnopeudesta riippuen. Putkivirtaukselle on laadittu nomogrammeja kaavoihin (4) ja (5) perustuen. Kaavassa (5) oleva tekijä  $k$  tarkoittaa virtauspinnan keskimääräistä karkeutta ja se ilmaistaan yleensä millimetreinä. Taulukossa 7 on lueteltu eräiden pintojen karkeusarvoja.



Kuva 47. Moodyn käyrästä kitkakertoimelle /8/.

Taulukko 7. Tavallisimpien virtauspintojen karkeusarvoja /19/:

Pinta	k-arvo (mm)
Muovi	0,007 - 0,01
Lasikuitubetoni	0,1
Puu, höylätty	0,3
Betoniputki	0,8
Pelti	0,3
Teräshiertobetoni	0,8
Betoni, sileä muotti	1,8
Puu, höyläämätön	1,5
Betoni, puuhierto	5 - 15
Sora	30 - 90
Sepeli	75



## 5.22 Paikallishäviöt

Paikallishäviöt arvioidaan yleensä kaavalla:

$$h_p = \zeta \frac{v^2}{2g} \quad (6), \text{ jossa } \zeta \text{ on yleensä kokeellisesti saatu kerroin, jonka arvoja eri virtaustilanteissa on seuraavassa esitetty luettelonomaisesti.}$$

- Nieluhäviöt riippuvat nielun rakenteesta ja tavallisimmin esiintyvät tapaukset on esitetty kuvissa 48, 49 ja 50, joista saadaan suoraan häviökertoimen arvot eri tilanteissa.
- Poikkileikkauksen muuttuessa kooltaan voidaan häviökerroin laskea kaavalla

$$\zeta = \frac{(n^{1,8} - 1)}{1,43 n^{1,8} + 1} \quad (7), \text{ kun putki supistuu (kuva 51).}$$

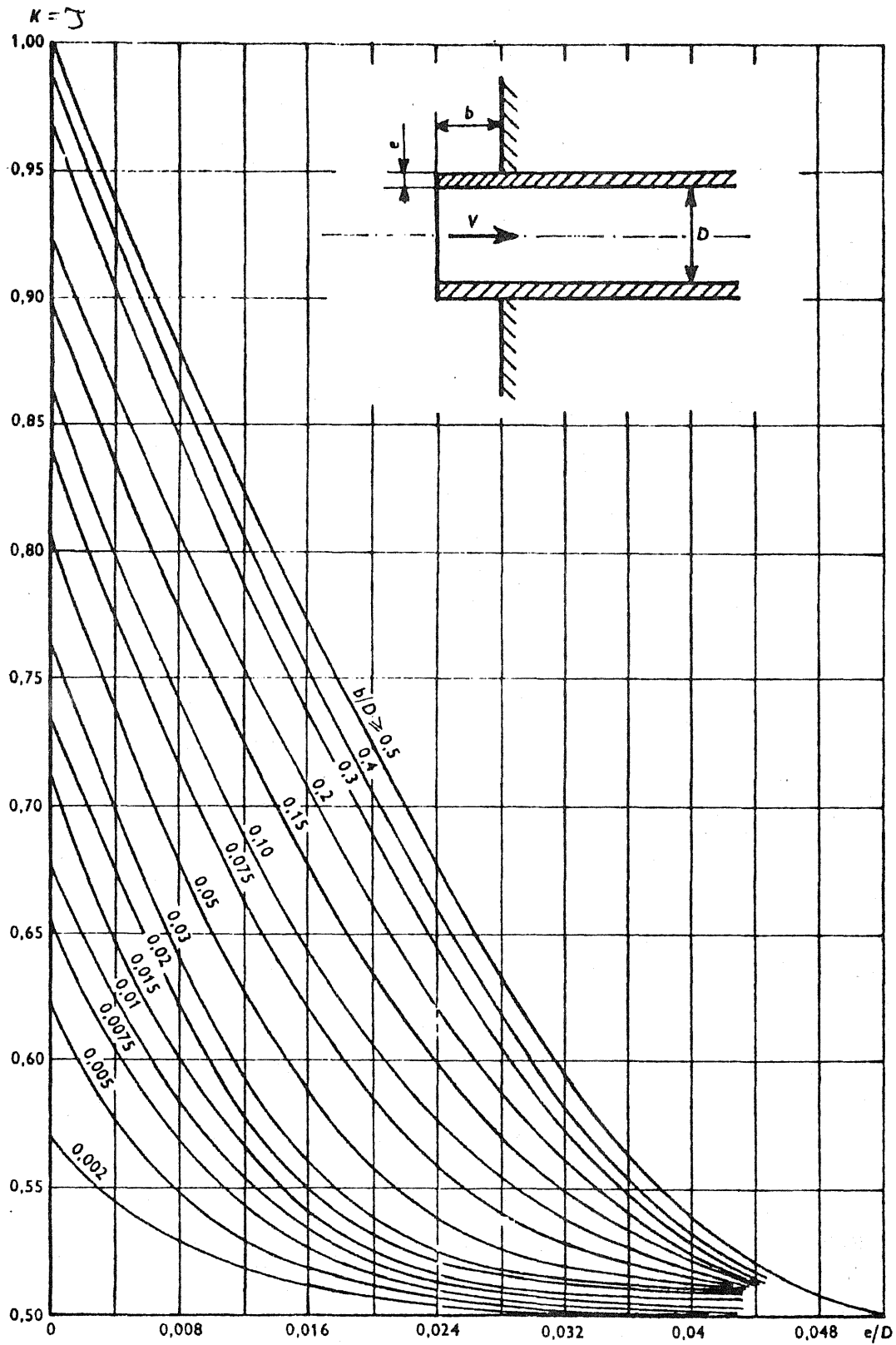
Kaavassa  $n$  = pinta-alojen suhde =  $S/S_0$ . Kertoimet riippuvat myös virtausnopeudesta, jolloin tarkemmat arvot saadaan kuvista 51 ja 52, joihin on merkitty katkoviivalla kaavoja (7) ja (8) vastaavat kertoimen  $\zeta$  arvot.

Äkillisessä laajentumassa kerroin lasketaan kaavasta

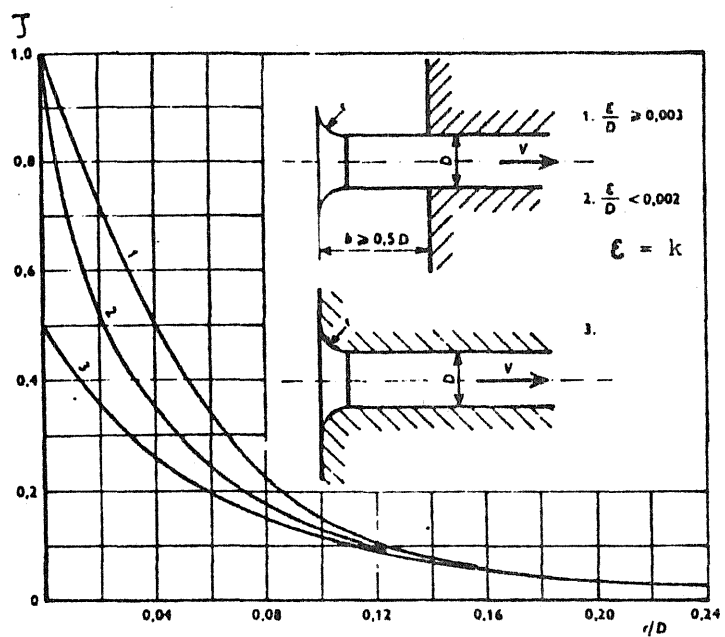
$$\zeta = \left(1 - \frac{S_0}{S}\right)^2 \quad (8) \text{ (merkinnät kuvasta 52)}$$

Kun laajeneminen tapahtuu vähitellen saadaan kertoimen arvot kuvasta 53.

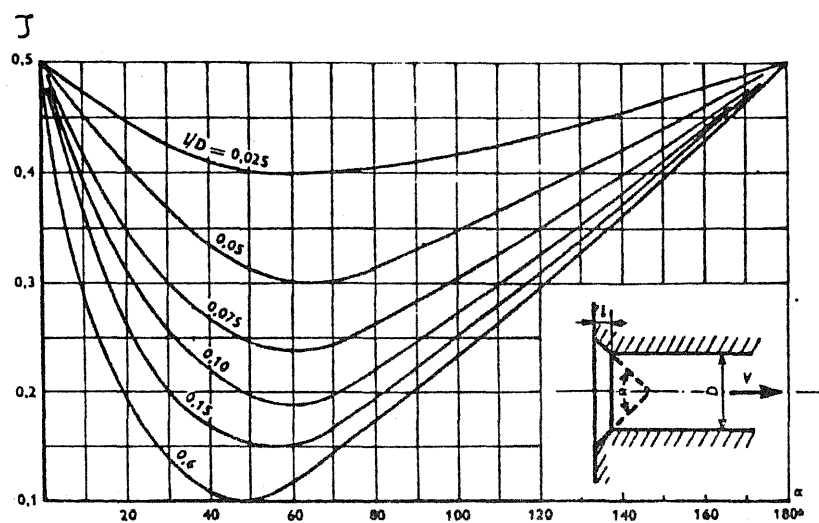
Supistumisen tapahtuessa vähitellen pienennetään kaavasta (7) tai kuvasta 51 saatua kerrointa supistumiskulmasta riippuen kertomalla arvolla  $\sin \emptyset$ , missä  $\emptyset$  on supistumiskulma (vrt. kuva 53).



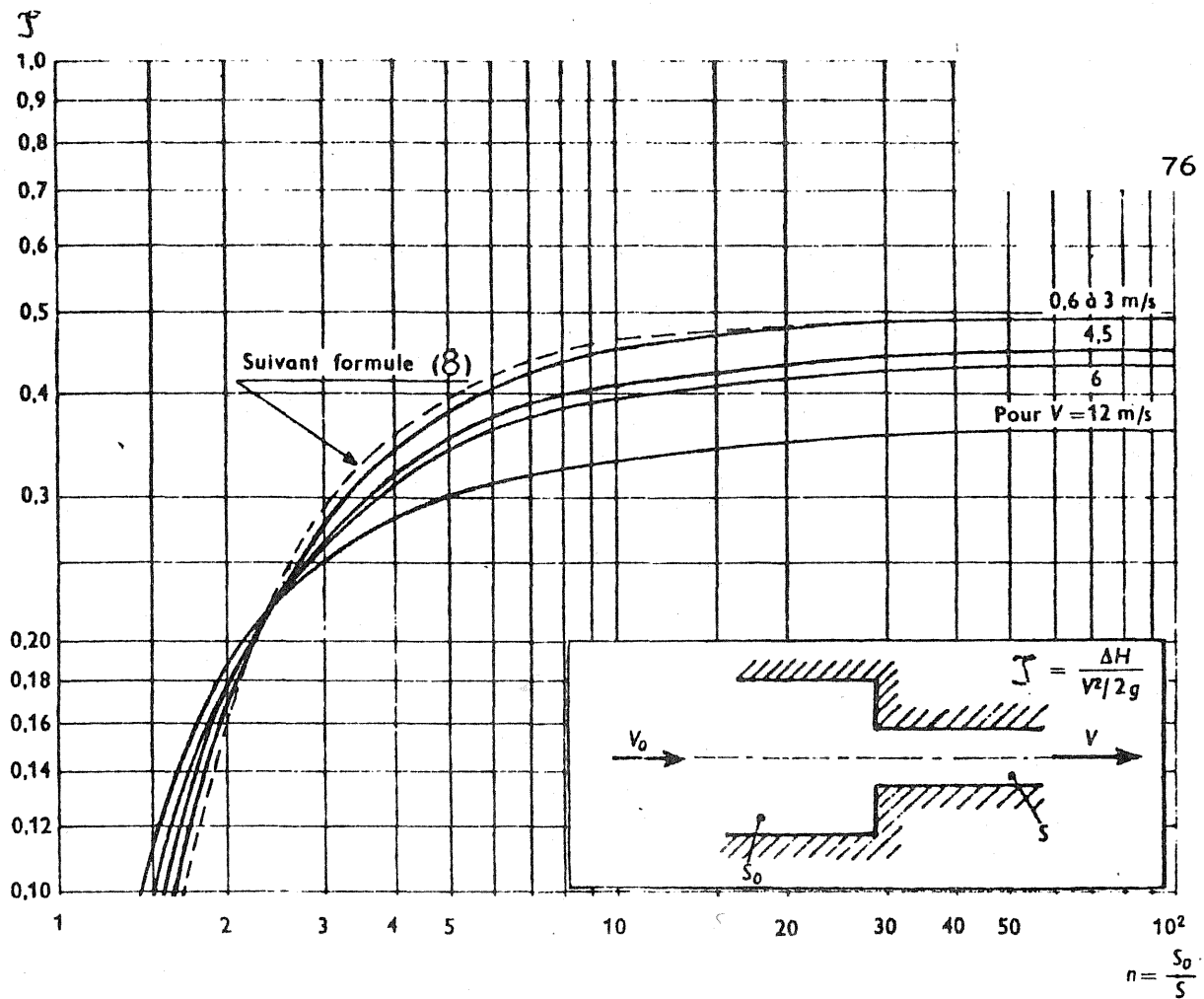
Kuva 48. Nieluhäviöt putken alkaessa säiliöstä. Reunoja ei ole muotoiltu /12/.



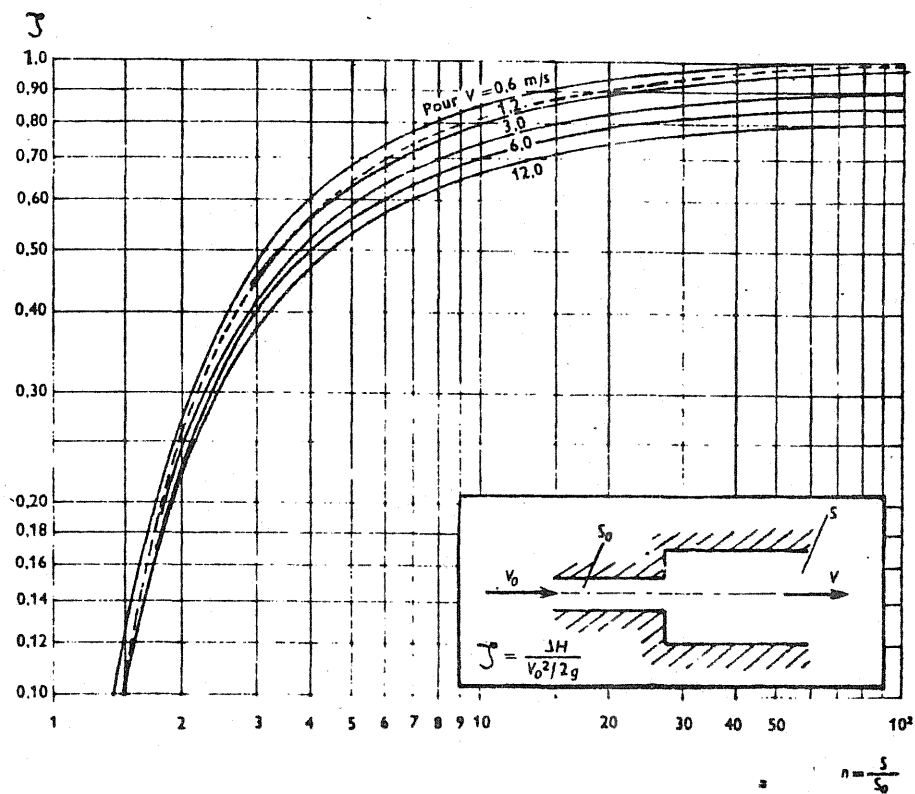
Kuva 49. Paikallishäviökerroin pyöristetyssä nielussa /12/.



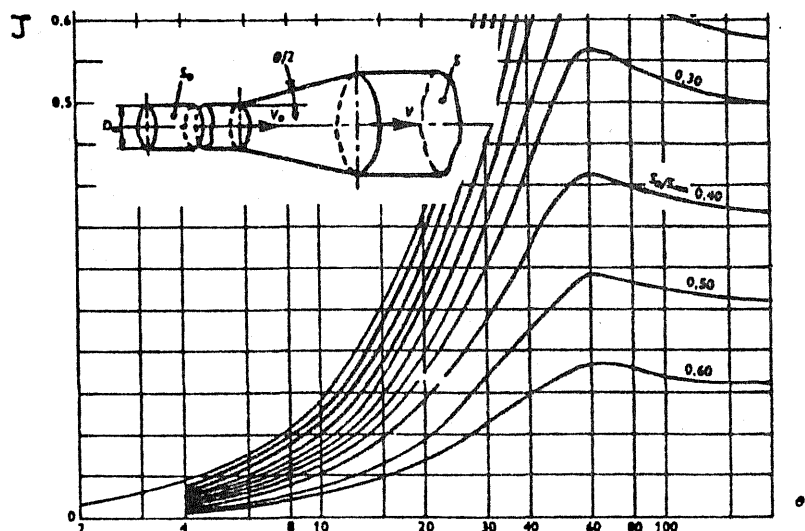
50. Paikallishäviökerroin viistetyssä nielussa /12/.



Kuva 51. Paikallishäviökerroin äkillisessä supistumassa /12/.



Kuva 52. Paikallishäviökerroin putken äkillisessä laajen-  
tumassa /12/.



Kuva 53. Häviökerroin vähitellen tapahtuvassa putken laajentumassa /12/.

Suunnanmuutos putkilinjassa tehdään joko kaarteena tai taitteisena. 1-taitteisena suunnanmuutos voidaan tehdä  $45^\circ$  kulmaan saakka ja siitä jyrkemmillä kulmilla 2-taitteisena. Kaarteita käytetään yleensä pienemmillä putkilla.

- Kaarteessa tapahtuvat paikallishäviöt arvioidaan kaavalla (6) ja  $J$ -kerroin saadaan kuvien 55 ja 56 avulla siten, että kuvasta 55 saadaan kertoimelle arvo, joka pätee kaarteelle, jonka  $R/D = 10$  ja Reynolds'in luvulle  $Re \geq 2,0 \times 10^5$  (merk.  $J'$ ). Rakenteen poiketessa tästä kerroin muutetaan kertomalla korjaustekijällä  $\beta$ , joka saadaan kuvan 56 avulla. Lopullinen kerroin siis  $J = \beta \cdot J'$
- 1-taitteisen käännöksen  $J$ -kerroin saadaan kuvan 57 avulla.
- 2-taitteisessä käännoksessä tapahtuva virtaushäviö arvioidaan laskemalla yhteen molemmissa taitteissa syntyvä häviö. Tämä antaa 25 - 30 % liian suuren häviökertoimen arvon, mutta käytännön laskelmissa tällä ei yleensä ole ratkaisevaa merkitystä. Peräkkäisissä toisiaan lähellä olevissa häiriökohtissa syntyvä häviö on useimmiten pienempi kokonaisuutena kuin erikseen laskettuna summana.

- Välppähäviön  $\mathcal{J}$  -kerroin lasketaan kaavalla

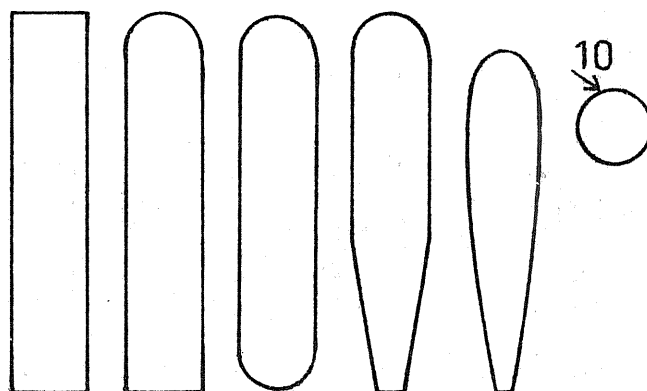
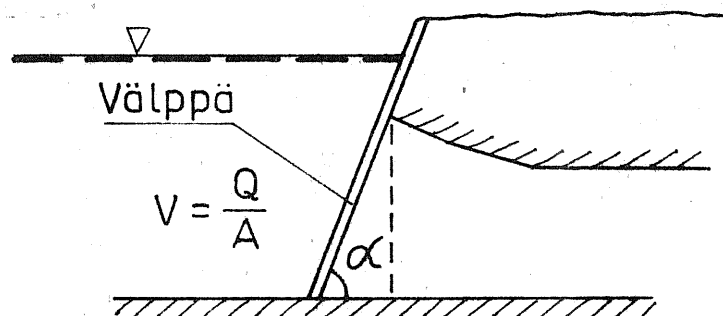
$$\mathcal{J} = \beta \left( \frac{d}{a} \right)^{3/4} \cdot \sin \alpha \quad (9), \text{ missä}$$

$\beta$  = välppärautojen muodosta johtuva kerroin (kuva 54)

$\alpha$  = välpän ja virtaussuunnan välinen kulma

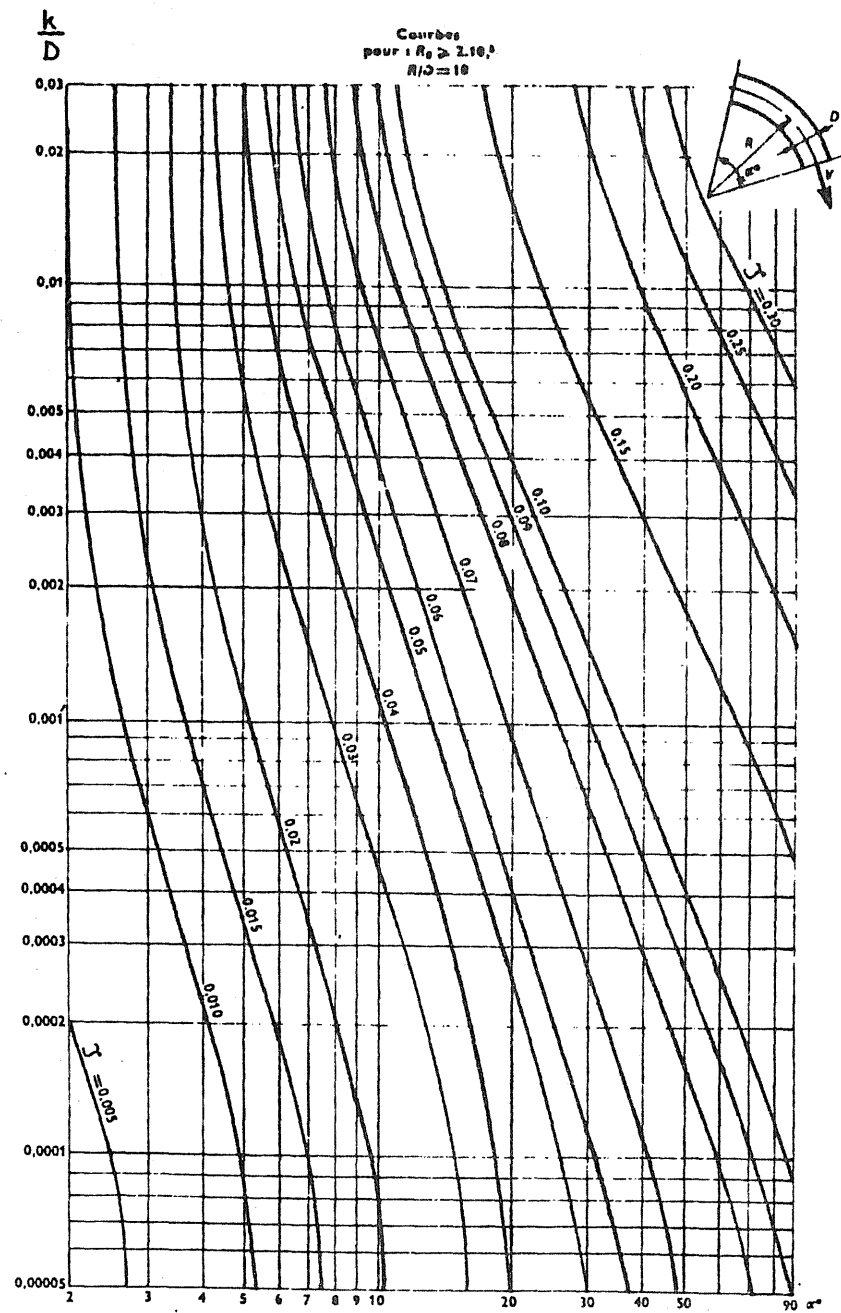
$d$  = välppärautojen paksuus

$a$  = välppärautojen vapaa väli

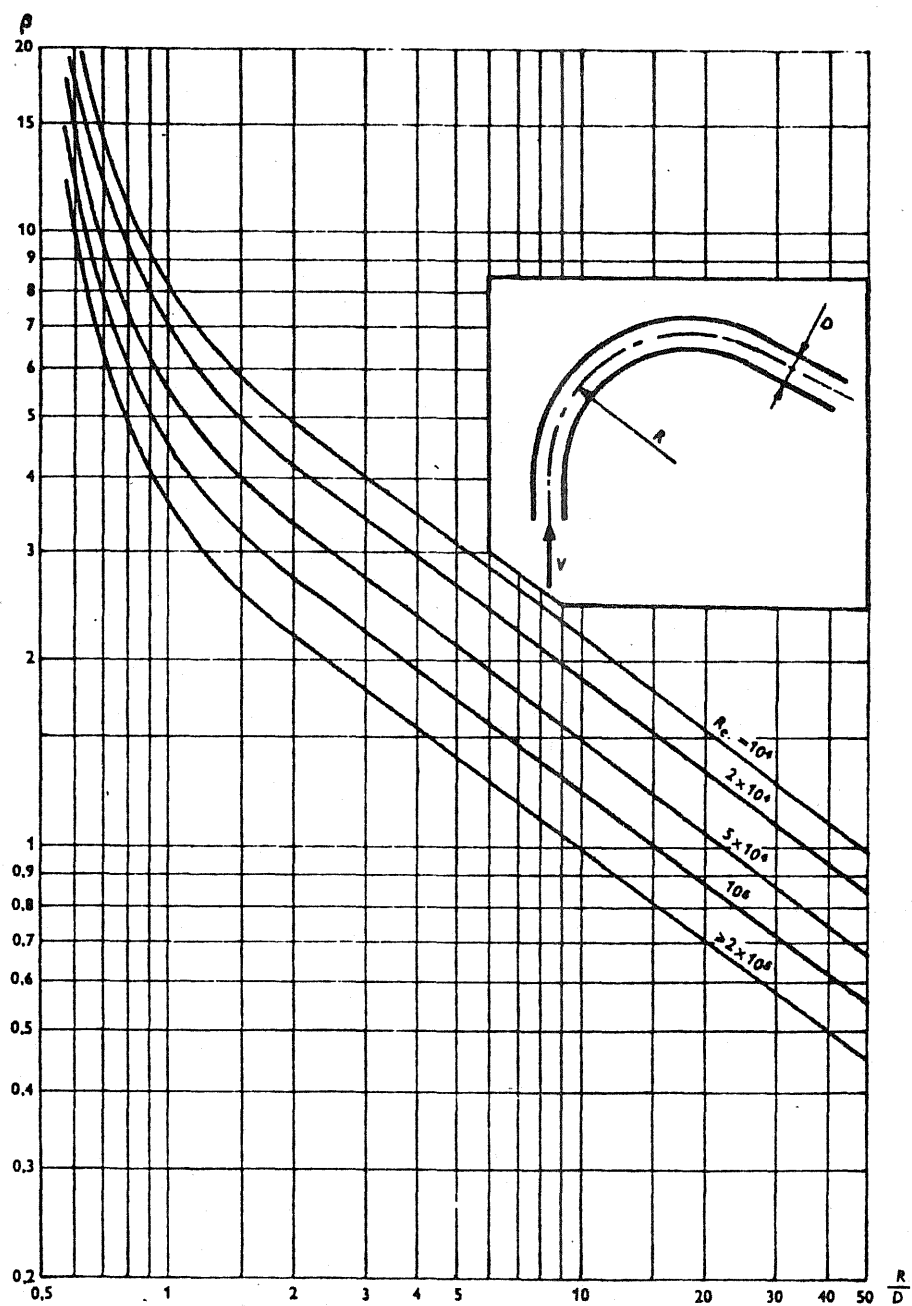


$\beta = 2.42 \quad 1.83 \quad 1.67 \quad 1.03 \quad 0.76 \quad 1.79$

Kuva 54. Välpassä syntyvä paikallishäviö riippuu mm. välppärautojen muodosta /8/.

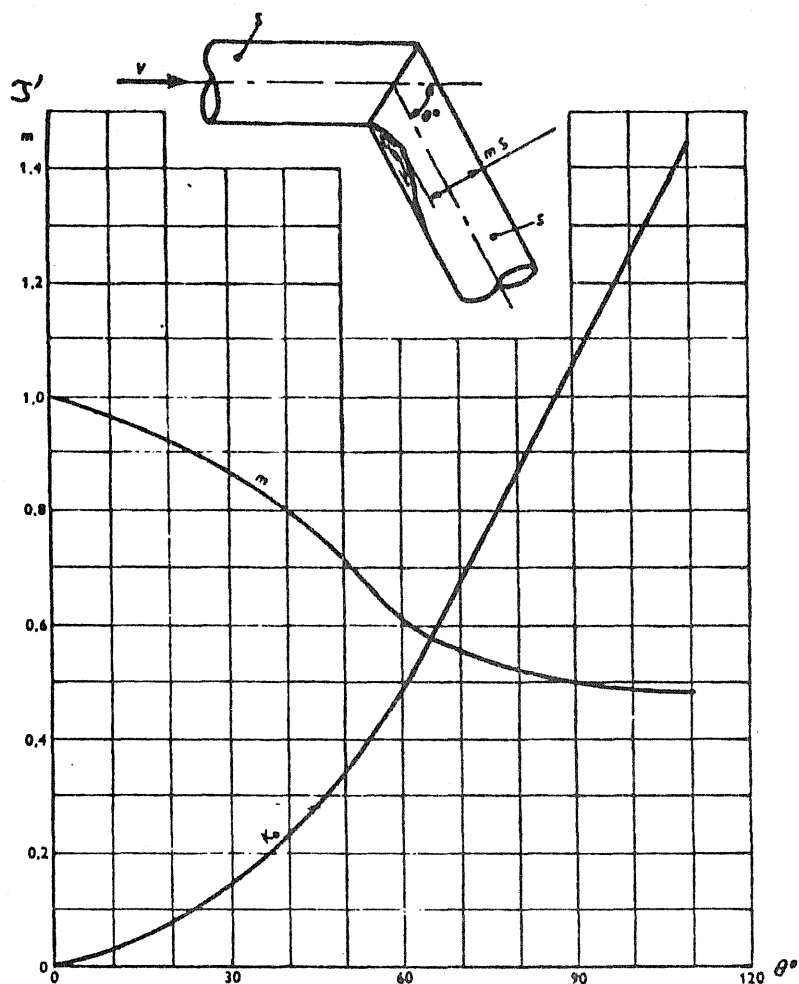


Kuva 55. Häviökerroin putken kaarteessa kääntymiskulmasta ja karkeudesta riippuen.  $Re \geq 2 \cdot 10^5$ ,  $R/D = 10$  /12/.



Kuva 56. Korjauskerrin  $\beta$  • /12/.





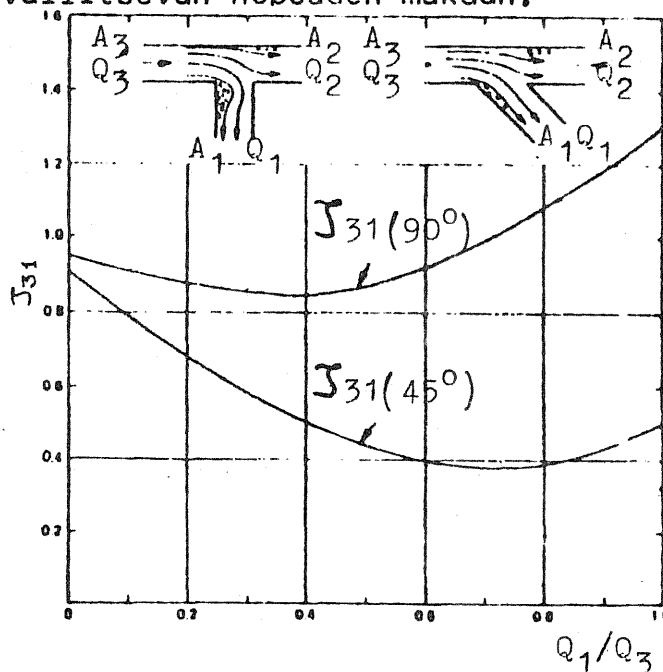
Kuva 57. Häviökerroin putken taitteessa kun  $k/d = 0,00005$  ja  $Re \geq 2 \cdot 10^5$ . Mikäli putken karkeus tai virtaus poikkeaa näistä, saadaan korjauskertoimet seuraavasta taulukosta 8. /12/.

Taulukko 8. Korjauskertoimet  $\beta_{Re}$  ja  $\beta_{k/D}$ . Muoviputkille ei tarvitse yleensä tehdä korkeuskorjausta /12/.

$k/D$	$4 \cdot 10^4$ Re	$2 \cdot 10^5$
	$\beta_{Re}$	$\beta_{k/D}$
0,00005	1,10	1,0
0,00005– – 0,001	1,0	$1+500 \frac{k}{D}$
0,001	1,0	$\sim 1,5$

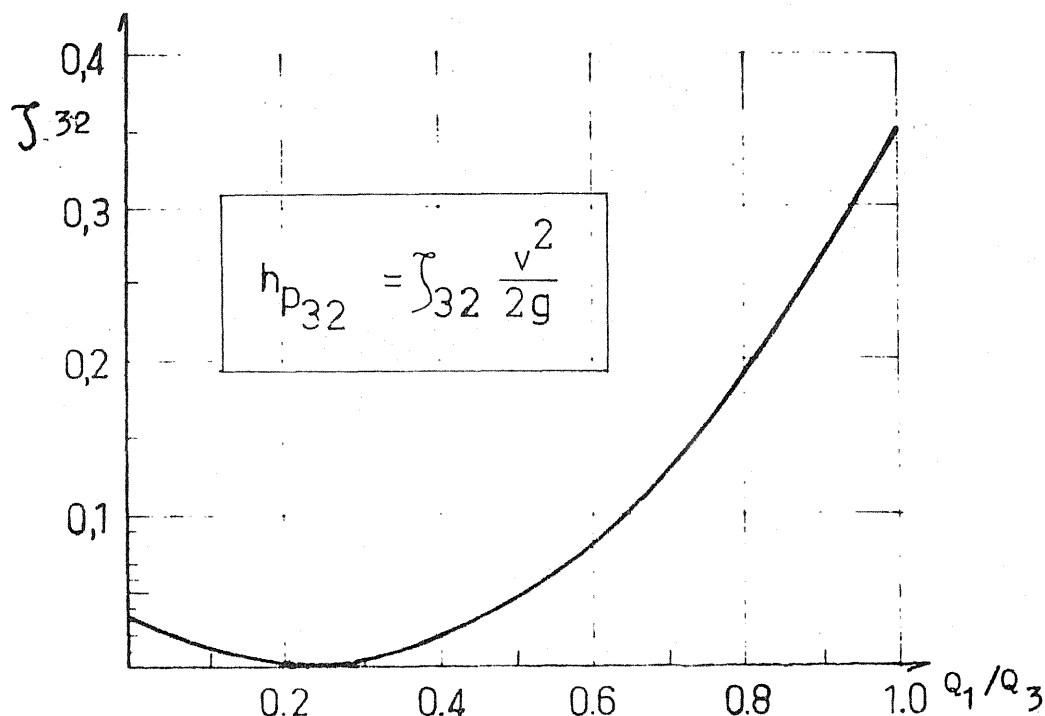
$$\mathcal{I} = \mathcal{I}' \cdot \beta_{Re} \cdot \beta_{k/D}$$

- Haarautumiskohdassa syntyviä häviöitä voidaan arvioida kuvan 58 mukaan silloin, kun päälinja ja haarautuva linja ovat halkaisijaltaan yhtäsuuret. Nopeuskorkeus lasketaan ennen haarautumista vallitsevan nopeuden mukaan.



Kuva 58. Häviökerroin putken haarautumassa kun putket ovat samansuuruiset /14/.

- Päälinjassa 3-2 tapahtuvat häviöt eivät riipu putkien keskinäisestä kokosuhteesta oleellisesti, vaan virtaaman jakautumisesta. Häviökertoimen arvo saadaan kuvasta 59.



Kuva 59. Paikallishäviö päälinjassa virtauksen haarautuessa /20/.

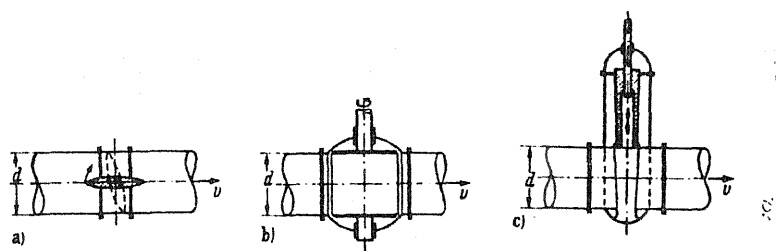
Kun päälinjan ja haaran halkaisijat ovat erikokoiset, saadaan paikallishäviökerroin  $90^\circ$  haaralle taulukosta 9. Merkinnät käyvät ilmi kuvasta 58. Arvot on saatu haaralle, jonka kulmat on pyöristetty. Teräväkulmaisille haaroille korotetaan arvoja 20 - 30 %.

Taulukko 9. Haarautuvan virtauksen häviökertoimet  $90^\circ$  haaralle. Nopeuskorkeus lasketaan ennen haarautumaa /20/.

$\delta = 90^\circ$						$A_1/A_3 = 1,0$					
$Q_1/Q_3$	$A_1/A_3 =$					$\delta =$					
	1,00	0,69	0,44	0,28	0,16	$45^\circ$	$60^\circ$	$75^\circ$	$105^\circ$	$120^\circ$	$135^\circ$
Eroavat virtaukset 31											
0	0,91	0,91	0,96	1,05	1,05	0,89	0,90	0,86	0,85	0,87	1,00
0,2	0,75	0,80	0,90	1,10	1,50	0,64	0,67	0,68	0,73	0,83	1,02
0,4	0,68	0,73	1,00	1,40	3,00	0,45	0,50	0,54	0,69	0,84	1,11
0,6	0,69	0,86	1,32	2,10	5,00	0,33	0,43	0,47	0,69	0,93	1,28
0,8	0,80	1,06	1,76	2,90	8,00	0,29	0,40	0,47	0,73	1,07	1,52
1,0	0,98	1,33	2,34	3,98	11,00	0,31	0,45	0,53	0,82	1,26	1,83
Yhtyvät virtaukset 31											
0	-0,85	-0,88	-0,92	-1,02	-0,97	-0,91	-0,79	-0,80	-0,82	-0,84	-0,80
0,2	-0,35	-0,30	-0,13	0,10	1,40	-0,43	-0,33	-0,34	-0,37	-0,33	-0,25
0,4	0,06	0,29	0,80	1,75	6,10	0,05	0,03	0,03	0,08	0,14	0,25
0,6	0,42	0,84	1,88	3,90	14,00	0,19	0,27	0,30	0,45	0,54	0,74
0,8	0,68	1,37	3,05	6,60	24,00	0,30	0,41	0,47	0,75	0,92	1,25
1,0	0,90	1,87	4,50	10,26	36,10	0,28	0,44	0,58	0,96	1,25	1,73
Yhtyvät virtaukset 32											
0	0,06	0,03	0,04	0,03	0,08	0,09	0,08	0,05	0,04	0,06	0,09
0,2	0,20	0,24	0,30	0,32	0,36	0,20	0,20	0,18	0,20	0,24	0,27
0,4	0,31	0,38	0,52	0,56	0,61	0,17	0,21	0,23	0,33	0,41	0,49
0,6	0,37	0,47	0,67	0,75	0,77	0,04	0,12	0,17	0,43	0,55	0,75
0,8	0,36	0,47	0,76	0,86	0,88	-0,24	-0,08	0,04	0,48	0,71	1,05
1,0	0,32	0,40	0,79	0,92	0,90	-0,61	-0,37	-0,19	0,49	0,86	1,40

- Venttiilin virtaushäviöt vaihtelevat ja niistä saa tarkemmat tiedot valmistajilta tai maahantuojilta. Likimäärin niitä voidaan arvioida seuraavasti /19/:

a) Lämpäventtiili, täysin auki	$J = 0,2 - 0,4$
b) Palloventtiili, "	$" \approx 0$
c) Luistiventtiili, "	$" = 0,12 - 0,28$



Kuva 60. Venttiilityyppejä /19/.

### 5.3 Avouomavirtaus

#### 5.31 Tasainen virtaus avouomissa

Veden tasainen virtaus esiintyy luonnonuomissa varsin harvoin. Sensijaan pitkissä tekouomissa on osia, joissa virtaus on ainakin ajoittain tasaista (vedenpinnan ja pohjan kaltevuudet ovat yhtäsuuria, poikkileikkaus ei muutu uomien pituussuunnassa). Uoman suunnittelu voidaan tällöin suorittaa ns. tasaisen liikkeen kaavan avulla.

Chézy'n kaava veden virtaukselle avokanavassa on

$$v = C \sqrt{RJ} \quad (10)$$

jossa

$v$  on veden keskimääräinen nopeus poikkileikkauksessa

$C$  on Chézy'n kerroin

$R = \frac{A}{P}$  on hydraulinen säde

$A$  = vesipohkipinta-ala,  $p$  on märkäpiiri

$J$  = vedenpinnan (ja uoman) pituuskaltevuus

Chézy'n kertoimen  $C$  määrittämiseksi on kehitetty lukuisia empiirisiä kaavoja.

Nykyisin käytetään eniten Manningin kaavaa, jonka mukaan

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} \quad (11)$$

jossa  $n$  on Manningin karkeuskerroin, Sijoittamalla yhtälö (11) yhtälöön (10) saadaan

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} J^{1/2} \quad (12)$$

Kun

$J = \frac{h_f}{L}$ , jossa  $h_f$  on putoushäviö matkalla  $L$  ja  
 $v = Q/A$  saadaan  $h_f$ :lle lauseke

$$h_f = \frac{n^2 \cdot Q^2 \cdot L}{A^2 R^{4/3}} \quad (13)$$

Käytännön laskelmissa tunnetaan yleensä virtaama ( $Q$ ), poikkileikkausten väli ( $L$ ), poikkileikkausala ( $A$ ) sekä hydraulinen säde ( $R$ ). Manningin karkeuskerroin ( $n$ ) on useimmiten arvioitava. Yhtälöstä 13 käy ilmi, että arvioitu uoman karkeus eli  $n$ -arvo vaikuttaa putoushäviön suuruuteen varsin tuntuvasti (toinen potenssi). Manningin kaava ei ole dimensionaalisesti oikea. Sen rinnalla on nykyisin käytössä Thijssen kaava, joka on seuraava

$$v = 18 \lg \frac{12 R}{k} \sqrt{RJ} \quad (14)$$

josta saadaan

$$h_f = \frac{Q^2 L}{324 A^2 \left( \lg \frac{12 R}{k} \right)^2 \cdot R} \quad (15)$$

kerroin  $k$  on sama kuin edellä esitetty karkeuskorkeus (taulukko 7). Koska  $k$  on logaritmin sisällä, sen arvioinnissa tapahtunut virhe ei aiheuta lopputulokseen kovin suurta vir-

hettä. Manningin kertoimen määrittämiseksi voidaan käyttää taulukkoa 10.

Taulukko 10. Manningin kaavan karkeuskertoimen  $n$  arvoja /19/.

Tekouomat, kourut

Uoman tyypit	Minimi	Normaali	Maksimi
Sileä teräspinta			
Maalaamaton	0,011	0,012	0,014
Maalattu	0,012	0,013	0,017
Puu			
Höylätty	0,010	0,012	0,014
Höyläämätön	0,011	0,013	0,015
Betoni			
Teräshierretty	0,011	0,013	0,015
Puuhierretty	0,013	0,015	0,016
Muotteja vastaan valettu (laudoitus)	0,014	0,017	0,020
Kaivettu uoma			
Maa, suora ja tasainen			
Puhdas äsken valmistunut	0,016	0,018	0,020
Sora, tasainen pl, puhdas	0,022	0,025	0,030
Lyhyttä ruohoa, vähän kasvill.	0,022	0,027	0,033
Maa, kaarteita			
Ei kasvillisuutta	0,023	0,025	0,030
Kivinen pohja, luiskat ruohott.	0,025	0,035	0,040
Louhospohja, puhtaat luiskat	0,030	0,040	0,050

### 5.32 Epätasainen virtaus

Luonnonuomissa ja useimmiten myös tekouomissa veden virtaus on epätasaista, ts. vedennopeus joko kiihtyy tai hidastuu ja vedenpinnan kaltevuus on vastaavasti pohjankaltevuutta jyrkempi tai loivempi. Epätasaisen virtauksen putoushäviötä lasketta-

essa on kitkasta aiheutuvan putoushäviön ( $h_f$ ) lisäksi otettava huomioon nopeuskorkeuden muutoksesta aiheutuva menetys ( $h_v$ ), jos nopeus kiihtyy eli poikkileikkausala pienenee uomaan alapäin mentäessä. Päinvastaisessa tapauksessa eli liikkeen hidastuessa nopeuskorkeustermiä ei oteta huomioon, koska liike-energian ei katsota muuttuvan takaisin potentiaalienergiaksi. Nopeuskorkeus kerrotaan nopeuskertoimella (1,05 - 1,30), mikä johtuu nopeuden epätasaisesta jakautumisesta poikkileikkauksessa.

Epätasaisen virtauksen yhtälö on, kun  $h_f$ :n laskemiseen käytetään Manningin kaavaa

$$h = h_f + h_v = \frac{n^2 Q^2 L}{A_m^2 R_m^{4/3}} + \frac{1,2 Q^2}{2g} \left( \frac{1}{A_2^2} - \frac{1}{A_1^2} \right) \quad (16)$$

Edellä selostetun mukaan jälkimmäinen termi ( $h_v$ ) otetaan huomioon vain, jos  $A_1 > A_2$ .

Yhtälön (16) merkinnät tarkoittavat (kuva 46):

$h$  = kokonaisputoushäviö (poikkileikkausvälillä  $A_1$ - $A_2$ ), m

$h_f$  = kitkavastuksesta aiheutuva putoushäviö, m

$h_v$  = liike-energian muutoksesta aiheutuva putoushäviö, m

$A_1$  = ylempi poikkileikkausala, m<sup>2</sup>

$A_2$  = alempi poikkileikkausala, m<sup>2</sup>

$A_m$  =  $\frac{1}{2} (A_1 + A_2)$ , m<sup>2</sup> (keskimääräinen poikkileikkausala)

$R_m$  =  $\frac{1}{2} (R_1 + R_2)$ , m (keskimääräinen hydraulinen säde)

$L$  = poikkileikkausväli, m

Epätasaisen virtauksen laskelmat suoritetaan (verkasvirtauksessa) alhaalta ylävirtaan päin.

Epätasaisen liikkeen yhtälö saa Thijssen kaavaa käytettäessä muodon

$$h = h_f + h_v = \frac{Q^2 L}{12 R_m} + \frac{324 A_m^2 (1g \frac{L}{k})^2 R_m}{}$$

$$\frac{1,2 Q^2}{2g} \cdot \left( \frac{1}{A_2^2} - \frac{1}{A_1^2} \right) \quad (17)$$

### 5.33 Paikallishäviöt

Avouomat ovat tavallisesti rakenteina selkeämpiä kuin putkilinjat ja niissä esiintyy harvemmin paikallisia häiriökohtia. Kalanviljelylaitoksella uoman poikkileikkaus on yleensä vakio, virtaus on hidasta ja häviöt pieniä, joten niiden käsittely rajoitetaan tässä vain muutamaan tapaukseen. Paikallishäviöt arvioidaan kaavalla:

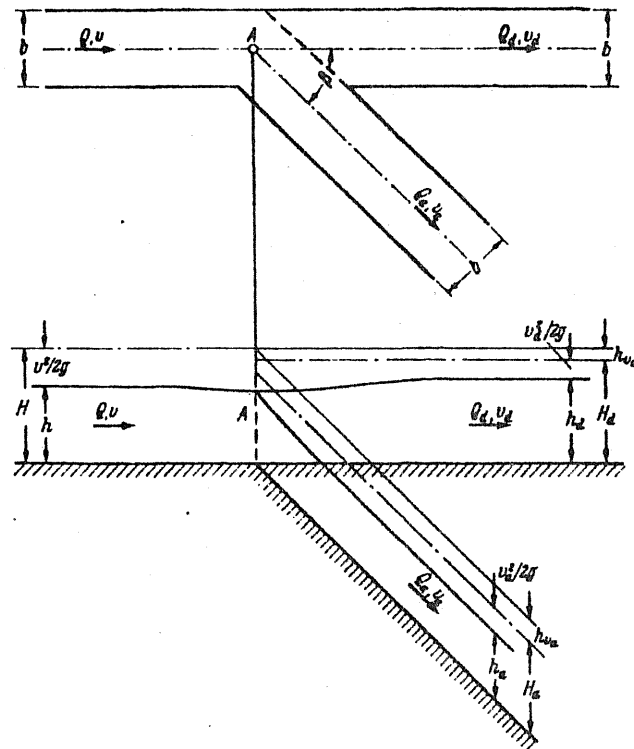
$$h_p = \sum \frac{v^2}{2g}$$

- Uoman alussa syntyvät nieluhäviöt arvioidaan seuraavasti /19/:

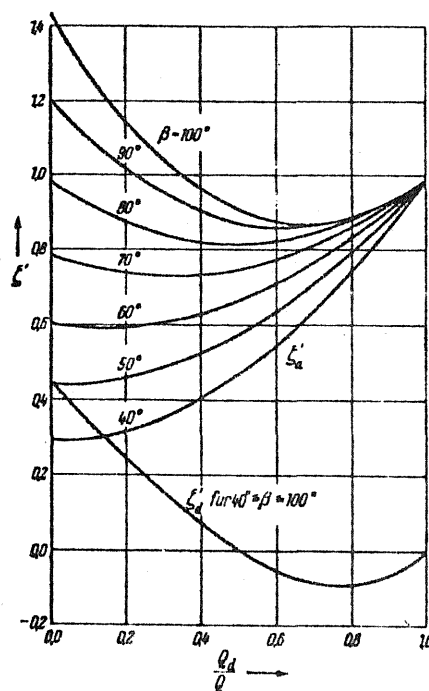
Terävä, suorakulmainen  $\sum = 0,5 - 0,6$   
 Hiukan pyör./viistetty  $\sum = 0,3 - 0,4$   
 Muotoiltu, loiva  $\sum = 0,1$

- Uoman haarautuessa häviökerroin määritetään kuvien 61 ja 62 mukaan.





Kuva 61. Uoman haara /19/.



Kuva 62. Häviökertoimet pääuomassa ja haarassa /19/.






#### 5.4 Padot

Varsinaiset kalanviljelylaitosalueella tarvittavat patorakenteet ovat suhteellisen yksinkertaisia ja niiden hydraulinen mitoitus on hallittavissa muutamalla kaavalla. Padoista purkautuva virtaama mitataan usein erillisellä mittalaitteella, jolloin padon purkautumiskäyrä on mahdollista tarkistaa todellisuutta vastaavaksi.

Patomunkin hydraulikka on sinänsä monimutkaista johtuen veden virtausteidien poikkileikkauksen muuttumisesta ja patokai-vossa tapahtuvan ylisyoöksen usein epästabiilista purkautumisesta. Koska munkkipadon ylisyoösyreunan korkeus on setein säädettävissä, riittää että laskelmissa ollaan oikeassa suuruusluokassa. Härkönen on tutkinut munkkipadon hydraulikkaa diplomityössään (1977).

- Ylisyoösy padon virtaama lasketaan kaavalla

$Q = \frac{2}{3} \mu b \sqrt{2g} H^{3/2}$ , (18), jossa  $\mu$  on padon purkauskerroin, joka riippuu padon muodosta (kuva 63. Patomunkeissa ei ole syytä käyttää suurempaa  $\mu$ -arvoa kuin 0,5.

	KRONENFORM	$\mu$
	Breit, scharfkantig, waagerecht	0,49...0,51
	Breit, mit abgerundeten Kanten, waagerecht	0,50...0,55
	Scharfkantig, mit Belüftung des Strahls	0,64
	Abgerundet mit lotrechter OW-Seite und geneigter UW-Seite	0,75
	Dachförmig mit abgerundeter Krone	0,79

leveä, terävä, vaakasuora

" , pyöristetty, "

terävä, ylisyoösy vapaa

pyöristetty, ylävirran puoli pystysuora

pyöristetty, viistetty

Kuva 63. Purkautumiskerroin erilaisille padoille  
(Press, Bretschnader, Hilfstafeln).

- Rengasylysöksy mitoitetaan kaavalla

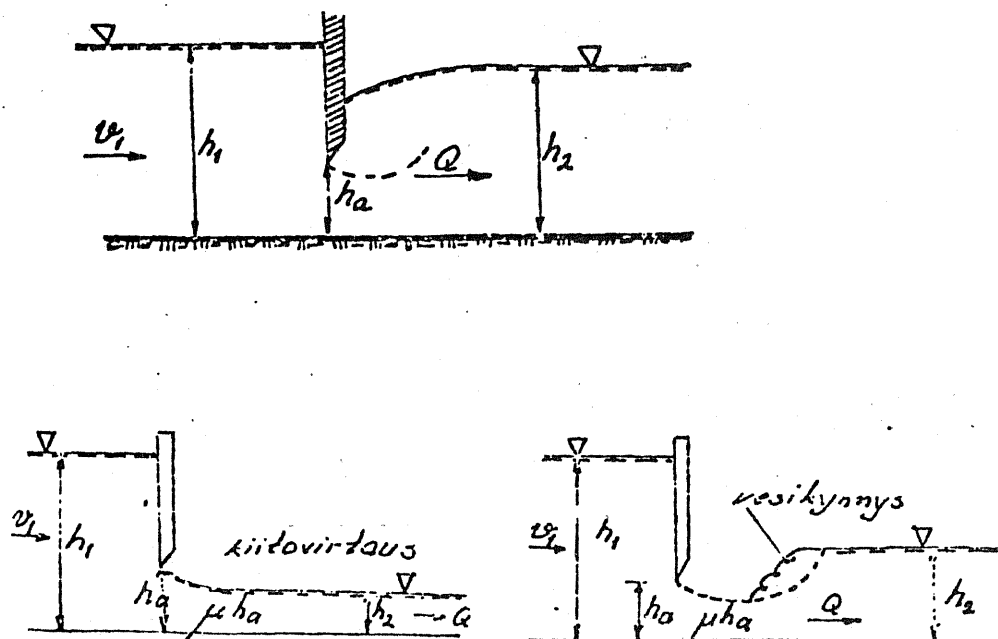
$$Q = \frac{2}{3} \mu \cdot \tilde{\pi} \cdot d \sqrt{2g} h^{3/2} \quad (19)$$

Teräväreunaiselle rengasylysöksyllä  $\mu$ -kerroin on  
 $\mu = 0,544 \cdot (h/d)^{-0,05} \quad (20)$ , jossa  $d$  =  
 kuilun halkaisija.

- Luukun ali purkautuva virtaama, kun luukku on kokonaan veden alla, lasketaan kaavalla

$$Q = \mu h_a b \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (21)$$

Tässä kerroin  $\mu$  vaihtelee välillä 0,55 - 0,70. Kuvassa 64 on esitetty luukkupadon eri virtaustilanteet.



Kuva 64. Luukun ali purkautuva virtaus (eri tapaukset) /21/.

Kun alavedenkorkeus on pienempi kuin Unvinin kaavan antama arvo

$$h_2 < -\frac{\mu h_a}{2} + \frac{(u h_2)^2}{4} + \frac{2 h_a}{9} + \frac{Q}{\mu h_a b}, \text{ ei alavesi vaiku-}$$

ta purkautumiseen ja virtaama lasketaan kaavasta:

$$Q = \mu h_a b \sqrt{2g(h_1 + V_1^2/2g + h_a)} \quad (22)$$

Tällöin alavedenpuolella on joko kiitovirtaustila tai syntyy vesikynnys (kuva 64).

Kalanviljelylaitoksen vedenhankintaan saattaa liittyä säännöstelypato, jolla muutetaan ottovesistön luonnontilaisia vedenkorkeuksia ja virtaamia. Padon rakentaminen edellyttää vesioikeuden lupaa ja pato on mitoitettava huolellisesti ja luotettavasti sekä tarkastettava purkauskyyky mittauksin.

## 6. VESIMÄÄRIEN MITTAUS

### 6.1 Yleistä

Vesioikeuden lupapäätöksessä velvoitetaan tavallisesti kalanviljelylaitos mittaamaan ja pitämään kirjaa käyttämistään vesimääristä. Vesimäärätiedoilla on tärkeä merkitys myös kalanviljelyn kannalta, sillä kalanviljelijä voi käyttää niitä hyväkseen käytännön viljelytoiminnassa. Tämän lisäksi erilaisissa kalanviljelyyn liittyvissä tutkimuksissa tarvitaan virtaamatietoja. Valvontaa varten riittää yleensä yksi vesimäärän mittauspiste.

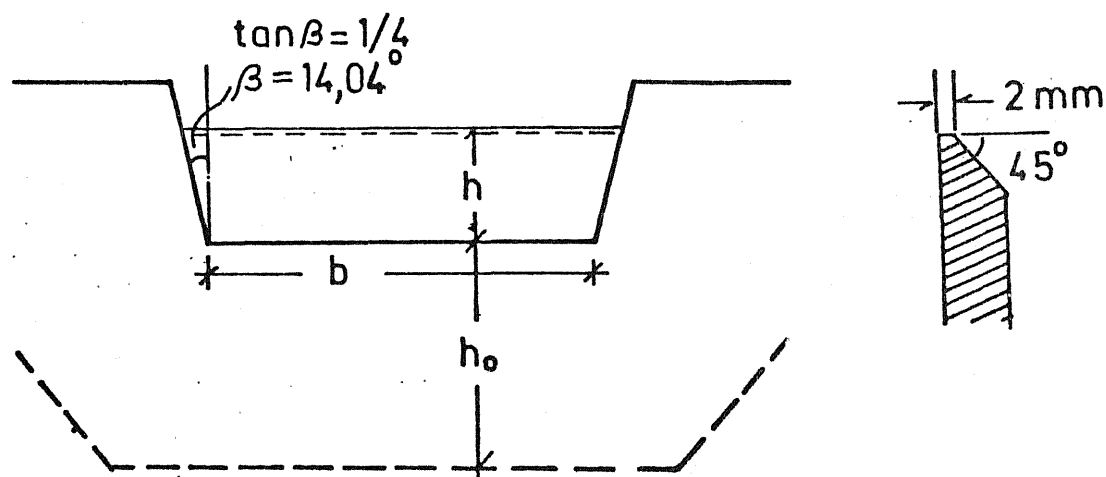
## 6.2 Mittapadot

Mittapadon muoto määritetään sellaiseksi, että saavutetaan riittävä tarkkuus kyseisellä virtaaman vaihteluvälillä. Suurehkoissa avouomissa voidaan käyttää suorakaiteenmuotoista patoa tai Cipoletti-mittapatoa. Jotta näiden patojen purkautumiskäyrä saataisiin määritetyksi luotettavasti laskennallisin keinoin on sijoitus- ja virtausolosuhteiden täytettävä seuraavat vaatimukset: /23/

- padon harja on vaakasuora ja terävä
- yläveden minimikorkeus on mittatarkkuuden kärsimättä 6-10 cm
- ylävedenkorkeus on korkeintaan puolet padon leveydestä ( $h \leq b/2$ )
- ylävedenkorkeus on korkeintaan puolet padon korkeudesta ( $h \leq h_0/2$ )
- yläkanavan syvyys on oltava vähintään kolme kertaa yläveden korkeus ( $h_0 + h \geq 3h$ )
- vedenkulun on oltava tasaista ja alkunopeuden mahdollisimman pieni ( $V_{0\max} \approx 0,2 - 0,3 \text{ m/s}$ ).

Kuvassa 65 on Cipolettin pato, jonka kulma  $\beta = 14,04^\circ$ . Virtaama lasketaan kaavalla /23/

$$Q = 1,865 \cdot b \cdot h^{3/2} \quad (23)$$



Kuva 65. Cipolettin pato

Laboratorio-olosuhteissa ja pienillä vesimäärillä luonnossa käytetään usein V-patoa. Yleisimmän eli 90-asteisen Thompson-padon käyttökelpoiseksi mittausalueeksi suositellaan 20 - 300 l/s ilman erillistä kalibrointia. V-muotoisen padon virtaama saadaan kaavasta

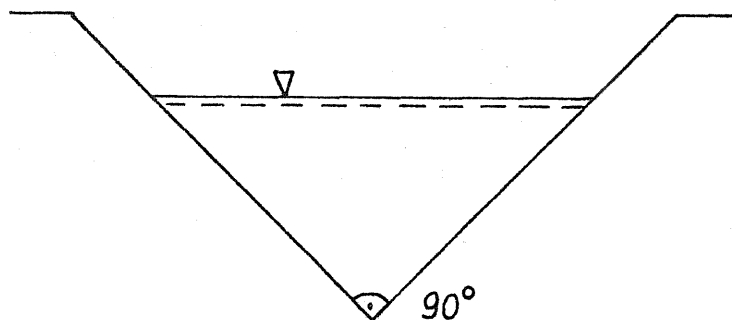
$$Q = \frac{8}{15} \mu \tan \frac{\alpha}{2} h^{5/2} \sqrt{2g} \quad (24)$$

Purkautumiskertoimen arvo on Barrin mukaan

$$\mu = 0,565 + 0,087 h^{-0,5} \quad (25) \quad (h=\text{cm})$$

Thompson-padon virtaama

$$Q = 0,0146 h^{5/2} \quad (26)$$

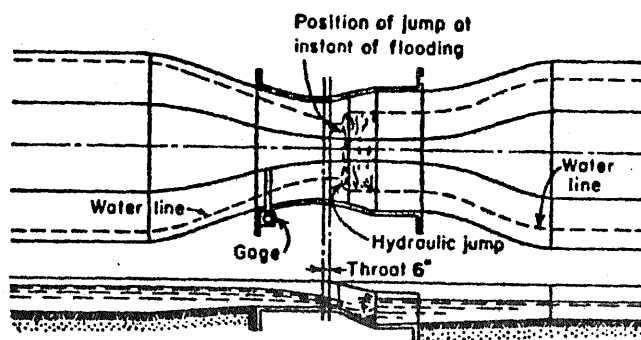


Kuva 66. Thompson-pato

Jotta purkautuminen tapahtuisi vapaasti, tulee ilman päästä virtaavan vesisäikeen alle. Ylädaltaan virtauksen tulee olla rauhallinen ja mahdollisimman hidas ja alavedenpinnan selvästi padon harjan alapuolella, jottei se vaikuta purkautumiseen ( $t \geq 0,3$  m). Putouskorkeutta teräväharjainen mittapato tarvitsee siis vähintään 0,3 m harjalta alaspäin ja ylavedenkorkeuden verran ylöspäin.

### 6.3 Venturikanavat

Venturikanavassa (kuva 67) pyritään alkuperäistä virtausuomaa kuristamalla luomaan kavennuksen vakio-osalla kiitovirtaus-tilanne. Kun alavesi on riittävästi alempana ylävettä, eivät muutokset alavedenkorkeudessa vaikuta ylävedenkorkeuteen /7/.



Kuva 67. Venturikanava

Bernoullin yhtälön mukaan saadaan

$$z_1 + h_1 + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + h_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_f$$

Kanavan ollessa vaakasuora  $z_1$  ja  $z_2$  ovat yhtäsuuret ja supistuvat pois. Häviö  $h_f$  oletetaan mitättömäksi. Yhtälö sievenee muotoon

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (27)$$

Kriittisessä virtauksessa verkkas- ja kiitovirtaustilan rajalla

$$Fr = \frac{v_c}{\sqrt{g R}} = 1 \quad (28)$$

Venturin purkautumiskäyrä voidaan laskea kaavojen (27) ja (28) avulla kahdella tavalla, joista toisessa oletetaan tunnetuksi virtaama toisessa kriittinen korkeus.

Energia venturin mielivaltaisessa pisteessä on

$$E = h + \frac{v^2}{2g} \quad (29)$$

Energiaminimi löydetään derivoimalla korkeuden  $h$  suhteen ja merkitsemällä derivaatta  $= 0$ .

$$\frac{dE}{dh} = 1 - \frac{Q^2 dA}{gA^3 dh} = 0 \quad (30)$$

Kun virtaama  $Q$  ja  $A = f(h)$  tunnetaan, voidaan  $h_c$  laskea ja sijoittamalla se yhtälöön (29) saadaan sitä vastaava kokonaisenergia. Sijoittamalla se edelleen yhtälöön (27) kyetään laskemaan mittapisteesä oleva vedenkorkeus.

Toinen mahdollisuus on olettaa kriittinen hydraulinen säde tunnetuksi ja ratkaista virtaama yhtälön (28) avulla.

$$A = A_c \sqrt{gR} \quad (31)$$

Sijoittamalla tämä yhtälöön (27) saadaan

$$h_1 + \frac{Q^2}{2gA_1^2} = h_c + \frac{R}{2} \quad (32)$$

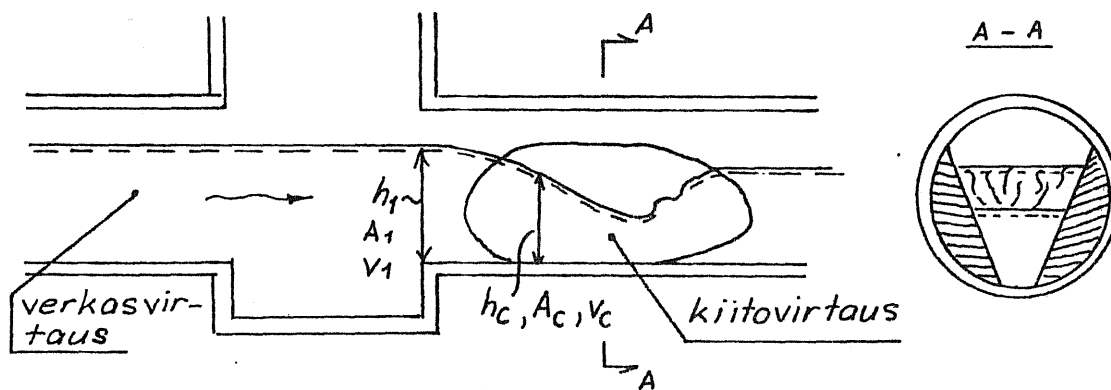
$h_1$  kyetään nyt ratkaisemaan kun pinta-alat  $A_1$  ja  $A_c$  ovat tunnetut funktioiden  $f(h_1)$  ja  $f(h_c)$  kautta.

Venturityyppisten mittakanavien vaatima putouskorkeus on pieni, sillä alavesi voi nousta jopa 95 %:iin ylävedenkorkeudesta sen vaikuttamatta haitallisesti mittaustarkkuuteen /7/.

Mittakanavia on erilaisia, joista eräs käyttökelpoinen sovellutus on Helsingin Teknillisen korkeakoulun vesirakennuslaboratoriossa vesihallituksen toimesta kehitetty malli (kuva 68). Venturiluiskat muotoillaan teräspellistä putkeen sopiviksi ja ne kiinnitetään korvakkeiden avulla putkeen. Rakennuskustannuksiltaan malli on erittäin halpa muihin kanavatyyppeihin venturimittareihin nähden. Se soveltuu myös paineputken virtaaman-



mittaukseen, jolloin lisätään yksi mittauspiste. Purkautumiskäyrä tarkastetaan laskemalla rakentamisen jälkeen, jolloin saadaan venturin tarkat mitat ja vältetään mahdollisesta huonosta mittatarkkuudesta johtuvat virheet.



Kuva 68. Putkeen asennetut venturiluiskat /7/.

#### 6.4 Venturiputki

Varsinaisella venturimittarilla tarkoitetaan kuvan 69 esittämää laitetta, joka käsittää putken kavennuksen sekä paineenmittausmanometrit ennen kavennusta ja kavennuskohdassa. Putken tulee laajeta hyvin hitaasti, ettei synny häviötä.

Virtaamalauseke saadaan lähtemällä Bernoullin yhtälöstä

$$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} = h_1 - h_2 \quad (33) \text{ ja jatkuvuus-}$$

yhtälöstä

$$Q = v_1 A_1 = v_2 A_2 \quad (34)$$

Otetaan mukaan kokeellinen vakio  $c$ , jolloin virtaaman lauseke on

$$Q = \frac{c A_1 A_2}{\sqrt{A_1^2 - A_2^2}} \sqrt{2g (h_1 - h_2)} \quad (35)$$

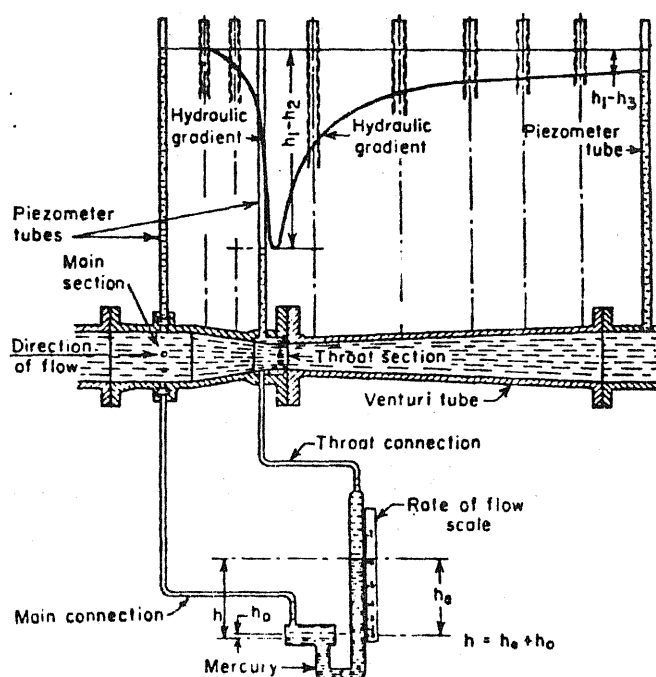
Halkaisijan avulla ilmaistuna kaava saa muodon

$$Q = \frac{c \sqrt{d_1^2 d_2^2}}{4\sqrt{d_1^4 - d_2^4}} \sqrt{2g(h_1 - h_2)}, \text{ joka voidaan sieventää muotoon}$$

$$Q = c K d_2^2 \sqrt{h_1 - h_2} \quad (37), \text{ missä}$$

$$K = \frac{4}{\pi} \sqrt{\frac{2g}{(1 - (d_2/d_1)^4)}} \quad (38)$$

Tekijän  $K$  arvot saadaan taulukosta 11 suhteesta  $d_2/d_1$  riippuen. Kokemuseräinen kerroin  $c$  saadaan taulukosta 12 ja sitä korjataan tekijän  $m$  avulla (kuva 70), mikäli veden lämpötila poikkeaa  $15^\circ\text{C}$ , kertomalla nopeus venturin kurkussa  $m$ :llä ja lukemalla kerroin  $c$  taulukosta näin saadun nopeuslukeman kohdalta.



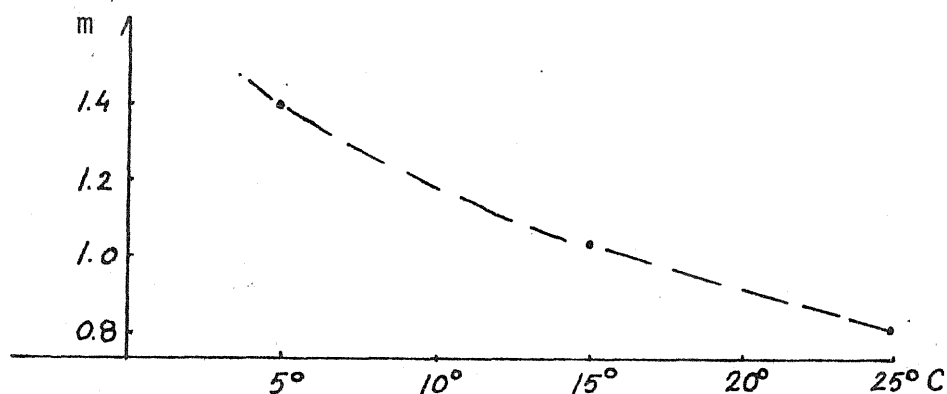
Kuva 69. Venturiputki mittapisteineen /1/.

Taulukko 11. Tekijä K eri  $d_2/d_1$ :n arvoilla /1/.

$\frac{d_2}{d_1}$	K	$\frac{d_2}{d_1}$	K	$\frac{d_2}{d_1}$	K	$\frac{d_2}{d_1}$	K	$\frac{d_2}{d_1}$	K
.20	6.31	.33	6.34	.46	6.45	.59	6.72	.72	7.37
.21	6.31	.34	6.34	.47	6.46	.60	6.75	.73	7.45
.22	6.31	.35	6.35	.48	6.47	.61	6.79	.74	7.53
.23	6.31	.36	6.35	.49	6.49	.62	6.82	.75	7.62
.24	6.31	.37	6.36	.50	6.51	.63	6.86	.76	7.72
.25	6.31	.38	6.37	.51	6.52	.64	6.91	.77	7.82
.26	6.31	.39	6.37	.52	6.54	.65	6.95	.78	7.94
.27	6.32	.40	6.38	.53	6.56	.66	7.00	.79	8.06
.28	6.32	.41	6.39	.54	6.59	.67	7.05	.80	8.20
.29	6.32	.42	6.40	.55	6.61	.68	7.11	.81	8.35
.30	6.33	.43	6.41	.56	6.64	.69	7.17	.82	8.51
.31	6.33	.44	6.42	.57	6.66	.70	7.23	.83	8.69
.32	6.33	.45	6.43	.58	6.69	.71	7.30	.84	8.89

Taulukko 12. Venturimittarin c-kerroin /1/

Kavennuksen halkaisija(mm)	Virtausnopeus kavennuksessa m/s						
	0,9	1,2	1,5	3,0	4,5	6,0	12,0
25	0,935	0,945	0,949	0,958	0,963	0,966	0,970
50	0,939	0,948	0,953	0,965	0,970	0,973	0,975
100	0,943	0,952	0,957	0,970	0,975	0,977	0,979
200	0,948	0,957	0,962	0,974	0,978	0,980	0,982
300	0,955	0,962	0,967	0,978	0,981	0,982	0,984
450	0,963	0,969	0,973	0,981	0,983	0,984	0,986
1200	0,970	0,977	0,980	0,984	0,985	0,986	0,988



Kuva 70. Korjaustermi  $m$  eri lämpötiloissa /1/.

### 6.5 Säätopato mittauslaitteena

Säätopadon purkautumiskäyrään perustuen voidaan laitoksen virtaamat mitata usein riittävällä tarkkuudella, kun käyrän paikansapitävyys on tarkistettu mittauksin. Mittaus suoritetaan joko siivikolla tai siirrettävällä mittapadolla.

Pato varustetaan asianmukaisin asteikoin, joista voidaan lukea esimerkiksi ylä- ja alavedenkorkeus sekä luukun avaus. Patoa varten laaditusta purkautumiskäyrästä tai -käyrästä voidaan lukea virtaama ja säätää sen avulla juoksutus sopivaksi. Mikäli padon yläpuolella virtausnopeus on suurempi kuin 0,5 m/s otetaan ylävedenkorkeudessa nopeuskorkeus lisäyksenä huomioon.

### 6.6 Muita mittausmenetelmiä

Putkeen asennettavalla siivikolla voidaan suorittaa virtaamanmittaus virtausnopeuteen perustuen. Tällöin vaaditaan, että putki on aina täynnä ja että siivikko on kalibroitu mittauspaikalla tai aivan vastaavissa olosuhteissa.

Erilaisia putkien antoisuuteen sekä pohjapatojen purkauskykyyn perustuvia menetelmiä voidaan joissain tapauksissa käyttää, mutta ne ovat yleensä epätarkempia kuin yllämainitut menetelmät eivätkä sovellu suuremmille laitoksille.

## 6.7 Tulostus

Virtaaman tarkkailu voidaan suorittaa kaikilla kuvatuilla laitteilla valvomosta, toimistosta tai vastaavasta käsin, asentamalla automaattiset mittarit kauko-osoittimeen ja piirtureineen. Mikäli tätä ei katsota tarpeelliseksi on niiden havainnoiminen mittauspaikalla mahdollista.

## 7. KALANVILJELYLAITOKSEN AIHEUTTAMA VESISTÖKUORMITUS

### 7.1 Yleistä

Kalanviljelylaitoksilta poistuu veteen ravinteita, jotka lisäävät levä- ym. kasvua, rehevöittäen alapuolista vesistöä. Koska fosfori on Suomen vesistöissä yleensä biomassantuotantoa rajoittavana minimitekijänä, aiheuttaa sen lisäys tuotannon kasvua. Vesihallituksessa tehdyn selvityksen mukaan /4/ oli kalanviljely vuonna 1978 Suomessa yksittäisistä teollisuuden haaroista toiseksi suurin fosforikuormittaja. Kalanviljelylaitokset ovat useissa vesistöissä suurimpia pistekuormittajia.

### 7.2 Kuormituksen syntyminen ja suuruus

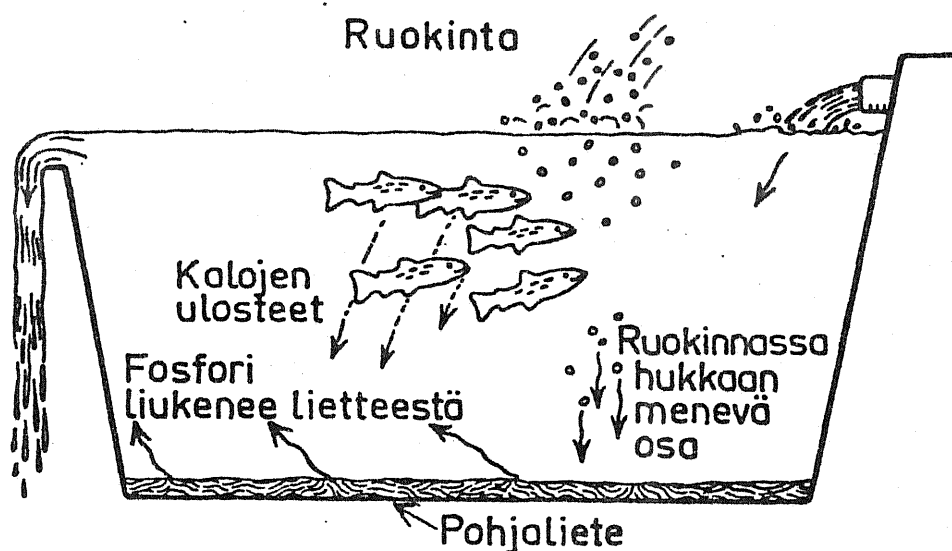
Kalanviljelylaitokselta poistuvassa vedessä voi olla seuraavia jätteiksi luokiteltavia aineita

1. Kalojen suolistoperäiset eritteet ja ruuan jätteet (orgaanista ainetta, ravinteita, kiintoainetta), jotka yleensä muodostavat lietettä altaan pohjalle (kuva 71).
2. Tautien hoitoon ja torjuntaan käytetyt kemikaalit (esim. NaCl, malakiittivihreä, formaliini). Näiden pitoisuudet ovat pieniä eikä niistä tiedetä aiheutuneen haittoja.
3. Bakteerit, virukset ja loiset, joista voi olla vaaraa vesistöissä oleville kaloille tai alapuolisille kalanviljelylaitoksille.

Tanskalaisten tutkimusten mukaan ruokinnassa hukkaan menevä osa vaihtelee rehulaadusta riippuen taulukon 13 mukaan.

Taulukko 13. Rehunkäytön tehokkuus /27/.

Rehu	Hukkaan menevä osa
Tuorerehu	10 - 30 %
Puolikuivat pelletit	5 - 10 %
Kuivarehu	1 - 5 %



Kuva 71. Kuormituksen syntyminen.

Yhden kalakilon tuottamiseen tarvitaan tehdasvalmisteista kuivarehua keskimäärin 1,5 - 2,0 kg. Tuorerehulla, joka yleensä on pilkottua kalaa, vastaava tarve on 5 - 7 kg. Näitä suhteita nimitetään kuiva- ja tuorerehukertoimiksi.

Kuivarehut sisältävät fosforia painostaan 1 - 1,5 % ja typpeä 6 - 9 % rehuseoksesta riippuen. Tuorerehussa (kalassa) on sitoutuneena noin 0,35 % fosforia.

Kalanviljelylaitosten velvoitetarkkailutulosten mukaan vesistöön joutuva fosforimäärä on luokkaa 4 - 7 g ja typpi 25 - 35 g

rehukiloa kohden. Keskiarvoina on käytetty 5,5 g P/rehukilo ja 30 g N/rehukilo. Tanskassa tehdyn tutkimuksen mukaan maalammikosta, jossa on 800 kg kirjolohta, aiheutuu vesistöön taulukossa 14 esitetty vuorokausikuormitus rehulaadusta riippuen.

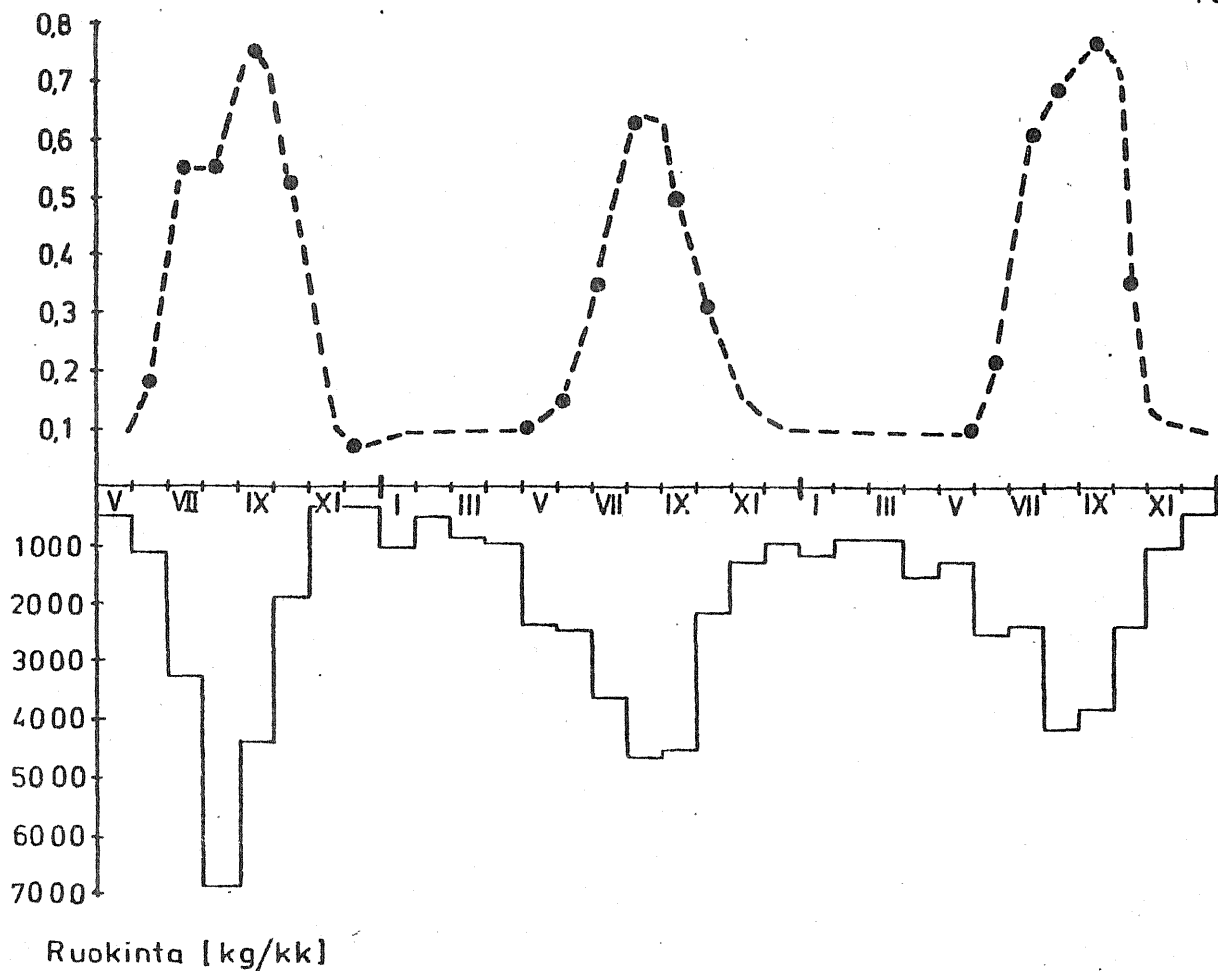
Talvella kuormitus on vain murto-osa kesän kasvukauden aikaisesta. Kalan ravinnontarve on talvella vajaa prosentti omasta painostaan viikossa kun se kesällä voi nousta jopa 15 prosenttiin. Varsinainen kasvatusaika maassamme ajoittuu toukolokakuuhun kestäen keskimäärin 120 vuorokautta (kuva 72).

Taulukko 14. Vuorokausikuormitus eri tyyppisillä rehuilla maalammikolla, jossa on 800 kg kirjolohta keskimääräiseltä kooltaan 200 g. Arvot grammoina. /27/.

	Kuivarehu	Puolik.pellet	Tuorerehu
BHT	1 500	1 700	3 900
Kok P	80	80	140
Fosfaatti	40	30	70
Kok N	300	400	650
Ammonium N	100	200	430
Nitraatti N	50	40	50
Suspend. kiintoaines	4 000	-	6 800

Taulukosta havaitaan, että tuorerehua käytettäessä kuormitus on noin kaksinkertainen kuivarehuun nähden, mikä johtuu käyttämättömästä rehusta (vrt. taulukko 13).

Yhden kalakilon ylläpitämiseen tarvitaan vettä noin yksi litra minuutissa. Näin esimerkiksi 60 000 kg kalamäärä tarvitsee vettä noin yhden kuutiometrin sekunnissa. Näin suurten vesimäärien käsitleminen olisi perinteisin menetelmin erittäin kallista ja vaatisi suuren pinta-alan rakenteille. Tämän lisäksi kalankasvatusvesien ravinne- ym. pitoisuudet ovat erittäin pieniä kuten taulukosta 15 ilmenee. Kuitenkin suuresta vesimäärästä johtuen kuormitus muodostuu huomattavaksi.



Kuva 72. Taimen Oy:n Lankamaan kalanviljelylaitoksen fosforikuormitus ja ruokinta kolmena peräkkäisenä vuotena.

Taulukko 15. Kalankasvatukseen käytetyn veden vertailu puhtaaseen jokiveteen ja taajamajätevetteen /27/. Pitoisuudet mg/l.

	Jokivesi	Puhdistamaton kalanviljely- vesi	Puhdistamaton taajamajäte- vesi
BHT	1,0 - 5,0	5,0 - 20	300
Kok N	1,0 - 2,0	1,0 - 4,0	75
Kok P	0,02 - 0,1	0,05 - 0,15	20
Susp. kiintoaines	-	5 - 10	500



### 7.3 Kuormituksesta aiheutuvat haitat

Kalalaitosten vaikutuksia alapuoliseen vesistöön on tutkittu maassamme viime vuosikymmenen vaihteesta lähtien. Ongelmat ovat kasvaneet ja viime vuosina on todettu selvästi vesilain tarkoittamaa pilaantumista. Seuraavassa esitetty tieto perustuu pääosiltaan lähteeseen /17/.

Kalalaitosten kuormitus lisääntyy loppukesää kohden kalojen kasvusta ja ruokinnan lisääntymisestä johtuen. Vaikutukset ovat tällöin myös selvemmin havaittavissa, koska virtaamat ovat yleensä pienimmillään. Haitan voimakkuuteen vaikuttavat veden likaantumisaste ja käyttömuodot.

Vesistön kannalta merkityksellisin on jätteistä aiheutuva ravinnelisiä, joka sopivissa olosuhteissa aiheuttaa voimakkaan leväkasvun. Fosfori on yleisesti vesiemme levätuotannon minimitekijä. Happea kuluttavien ja tuotantoa lisäävien ainesten vaikutus tuntuu eniten järviältaissa. Koska kuormitus on talviaikana lähes olematon, tapahtuu vesistöissä elpymistä ennen uutta kasvatuskautta. Välittömästi laitoksen alapuolisissa virtapaikoissa kuormitus näkyy pohjalevien voimakkaana kasvuna. Virtaavassa vedessä haitan suuruus riippuu jätevesimäärän suhteesta joen virtaamiin. Levätestien perusteella tuotanto alkaa voimakkaasti kohota, kun laitoksen käyttämä vesimäärä kohoaa 10 - 20 % joen virtaamasta. Järvissä vaikutus vaihtelee riippuen mm. laitoksen tuotannosta sekä vesistön virtausolosuhteista. Kriittinen fosforipitoisuus on noin 25 µg/l.

Oulun vesipiirissä tehdyn selvityksen mukaan rehevöityneiden vesien käyttö talousvedeksi on ajoittain estynyt, rantojen ja pohjan limoittuminen on haitannut uintia, kalanpyydykset ovat ajoittain limoittuneet ja kaloissa on esiintynyt makuvirheitä. Kohonnut ravinnetaso ei ole osoitettavasti tuottanut hyötyä esimerkiksi kalantuotannon lisääntymisenä.

Kalalaitosten jätevesien bakteerien vaikutuksesta juoma- ja talousveden käytölle kiistellään. Näillä bakteereilla ei ole

arvoa epidemiaindikaattoreina. Vaikka lääkintöhallituksen asettamia raja-arvoja ei voidakaan sellaisenaan käyttää alapuolisia vesiä arvosteltaessa, on syytä olettaa kalankasvatusvesien pilaavan talousveden välittömästi laitoksen alapuolella.

## 8. TOIMENPITEET JA NIIDEN SUUNNITTELU KUORMITUKSEN VÄHENTÄMISEKSI

### 8.1 Yleistä

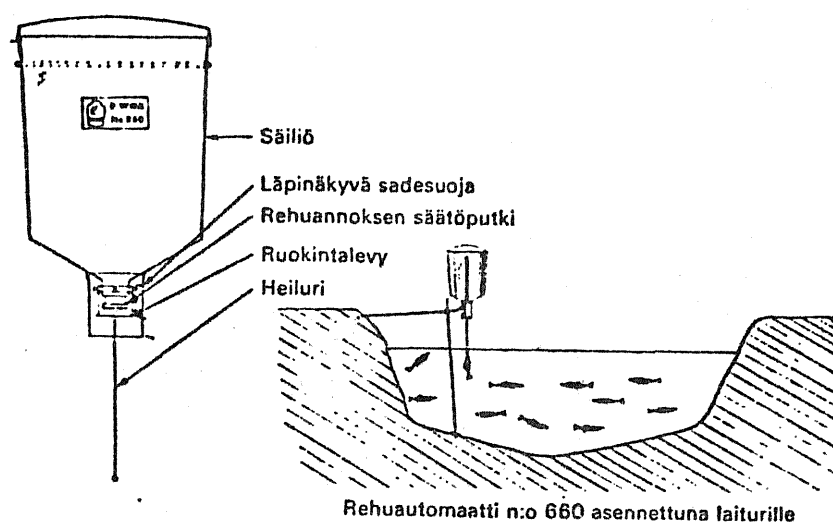
Kalanviljelystä on muodostunut jo nykyisessä laajuudessaan niin huomattava vesistön kuormittaja, että haittojen vähentäminen on välttämätöntä haluttaessa ylläpitää ja lisätä elinkeinoa. Päämäärään voidaan pyrkiä mm. tehostamalla ravinnon hyväksikäyttöä ja suunnittelemalla laitokset siten, että luodaan edellytykset syntyvän jätteen poistamiseen.

### 8.2 Rehu ja sen hyväksikäyttö

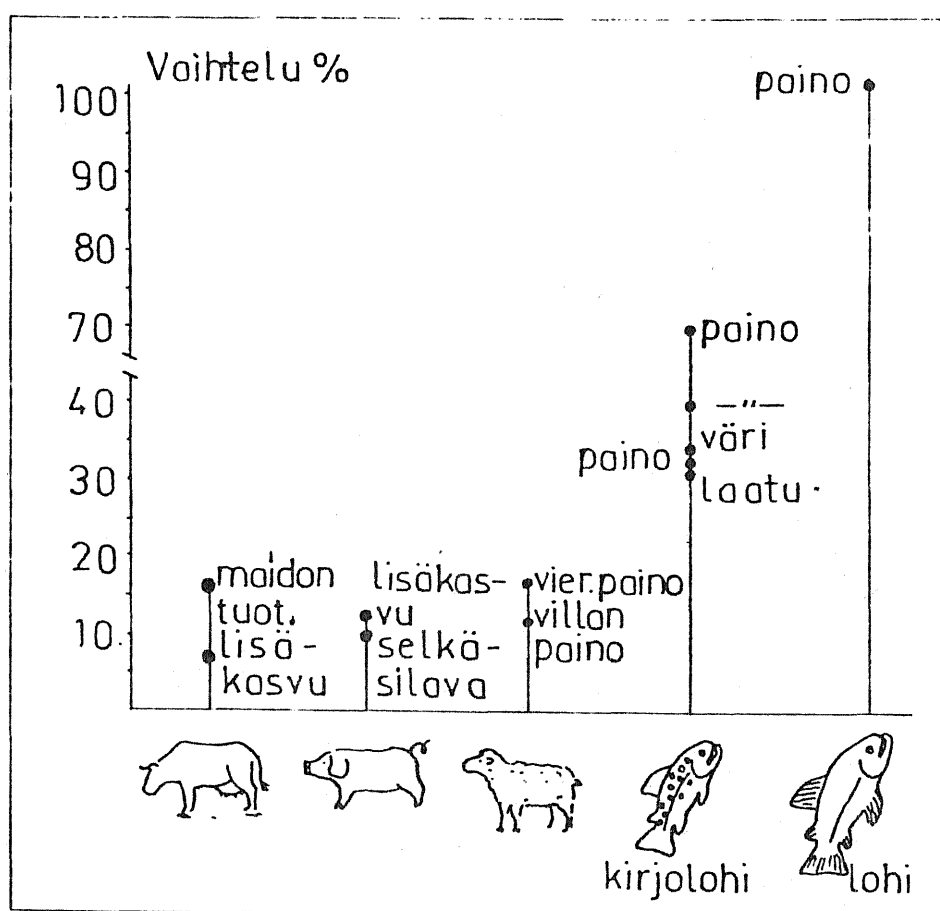
Vertaillaessa rehuja todettiin, että hukkaan menevä osuus oli pienin kuivarehulla, jota käyttäen on mahdollisuus hoitaa ruokinta kuvan 73 mukaisella itseruokinta-automaatilla. Tällaista ruokintalaitetta käytettäessä saadaan rehuinkäyttö noudattamaan kalan luontaista ruokahalua.

Kalalajien tuotanto-ominaisuuksien jalostuksella uskotaan säävutettavan kasvussa parempi hyötysuhde, jolloin laitoksen tuotama kalamäärä voidaan kasvattaa vähemmällä rehulla. Tutkimusten mukaan hyötysuhteeseen on mahdollista vaikuttaa huomattavasti (kuva 74).

Pölynpoisto kuivarehusta vähentää rehusta aiheutuvaa välitöntä ravinnekuormitusta. Pölynpoistolaitteita on käytössä jo useilla kirjolohilaitoksilla.



Kuva 73. Ruokinta-automaatti /30/.



Kuva 74. Eräiden kotieläinten periytyvien ominaisuuksien vaihtelu jälkeläisissä verrattuna kirjoloheen ja loheen (Gjerdem 1975) (Suomen kalastuslehti 1978).

Kuivarehuseosten fosforipitoisuutta voidaan alentaa ja tältä osin kuormitus vähenee.

### 8.3. Kiintoaineen talteenotto

#### 8.31 Yleistä

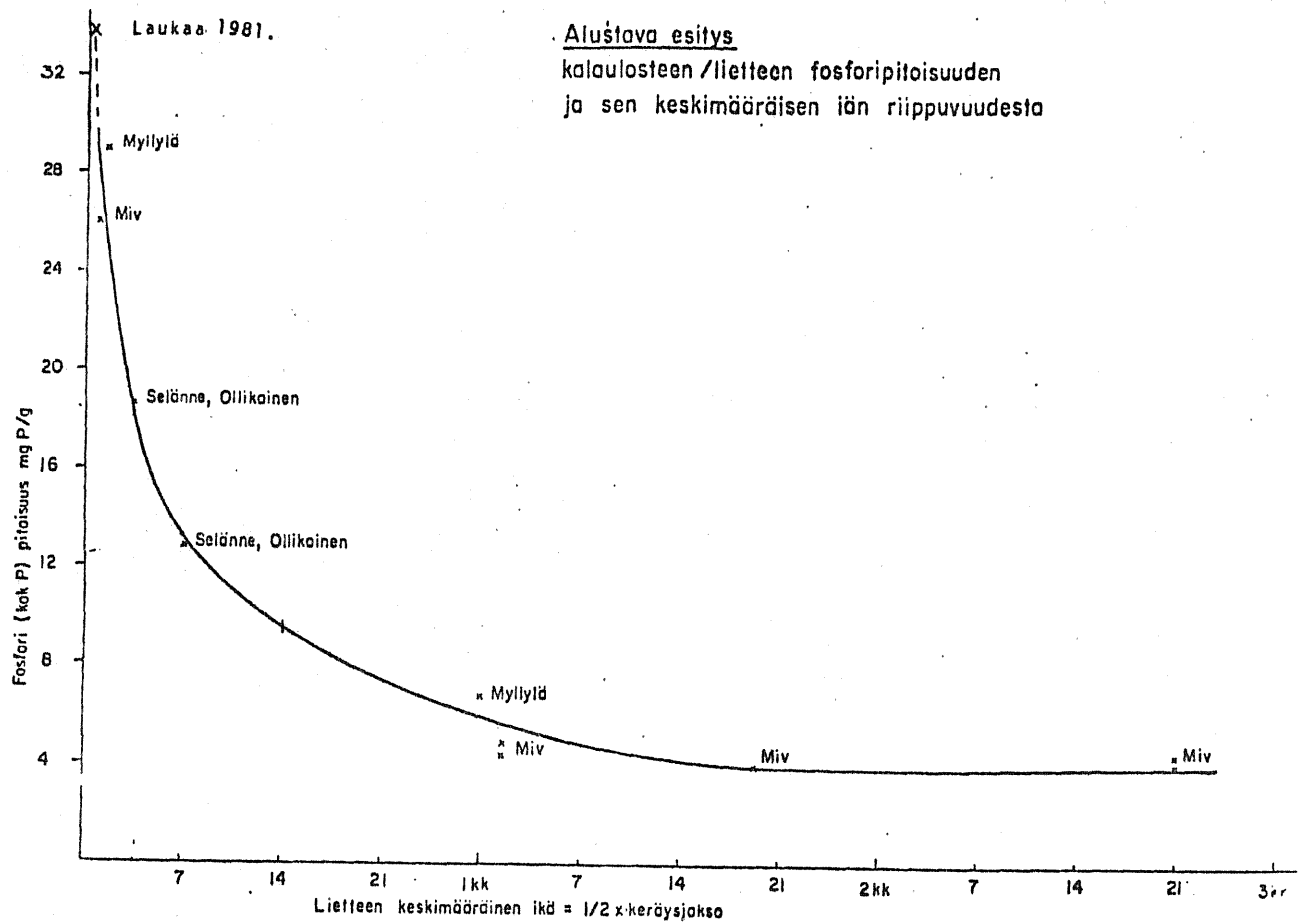
Lähes kaikki kuormitusta aiheuttava jäteaine on tuoreena kiinteässä muodossa ja siten laskeutettavissa. Eri ikäisten kala-allaslietteiden fosforipitoisuusanalyysiin perustuen on muodostettu kuvaaja pitoisuuden ja lietteen iän riippuvuudesta (Kivinen 1980). Kuvaajaa on täydennetty merkitsemällä siihen kesällä 1981 suoritetun pyörreselkeyttitutkimuksen yhteydessä kerätyn keskimäärin 1/2 vrk:n ikäisen lietenäytteen fosforipitoisuus (kuva 76). Kuvaajasta voidaan päätellä, että parhaan puhdistustuloksen saavuttamiseksi liete olisi saatava talteen viimeistään 1 - 2 vrk:n ikäisenä.

Lohikalojen hajoamattomat ulosteet laskeutuvat nopeasti (kuva 77). Hidasvirtaisissa altaissa ne muodostavat pohjalietteen.

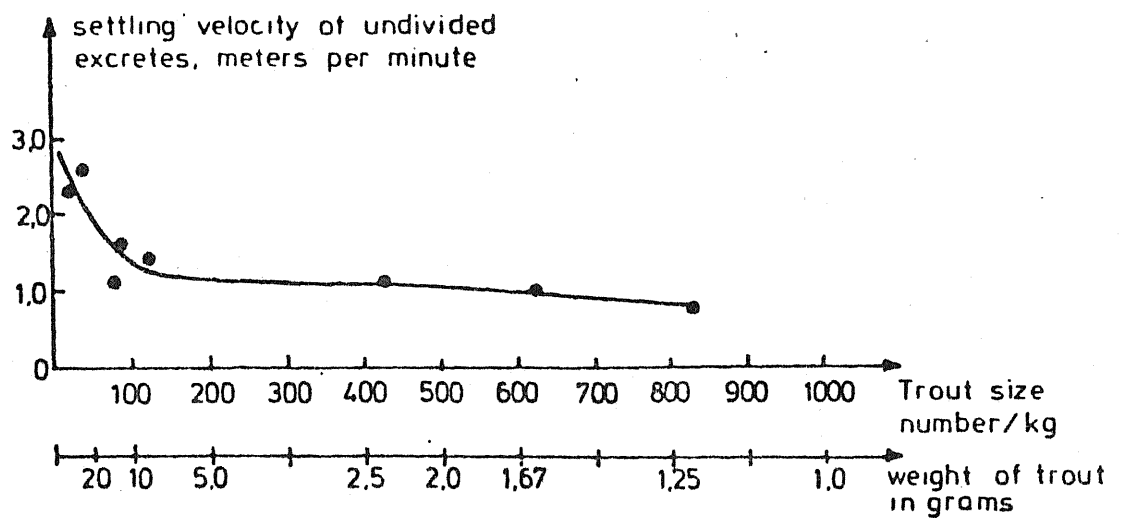
Kiintoaineen talteenottamiseksi voidaan erottaa kaksi periaatteellista vaihtoehtoa: 1) Lietteiden laskeuttaminen itse viljelyaltaaseen, josta se poistetaan riittävän tihein välein. 2) Altaiden rakentaminen itsepuhdistuviksi, jolloin jätteet poistuvat virtauksen mukana ja ne laskeutetaan erillisessä laskeutusaltaassa tai pyörreselkeyttimessä.

#### 8.32 Lietteen kerääminen kasvatusaltaasta

Uomatyypisissä altaissa jäte usein kerääntyy virtausten vuoksi tiettyille alueille. Tätä ilmiötä voinee käyttää hyväksi lietteiden keräystä suunniteltaessa. Siikataimen Oy:n kalanviljelylaitosella Konnevedellä on maauoma-altaaseen asennettu lietetaskut alueille, johon altaan tyhjennyksen yhteydessä on havaittu lietteiden keräytyneen. Taskut ovat pohjatason alapuolella, jotteivät ne haittaa nuottausta (kuva 78). Rakennusaineena on käytetty lautaa.



Kuva 76. Lietteen fosforipitoisuus (Kivinen 1980).



Kuva 77. Laskeutumisnopeudet jakautumattomille lohen poikasten eritteille /27/.

Tasku tehdään V-muotoiseksi, jotta liete voidaan kerätä täsmällisestä kohdasta. Liete tulee ottaa talteen vähintään viikon välein. Tuloksia menetelmän tehokkuudesta saataneen kesälä 1982. Mikäli menetelmä osoittautuu käyttökelpoiseksi, sitä voitaisiin soveltaa maa-allaslaitoksilla, joissa tehokkaammat ratkaisut eivät ole esimerkiksi putouskorkeuden puutteen vuoksi mahdollisia. Suunnittelu ja rakentaminen on laitoskohtaista "räätälintyötä", joten laitoksen henkilökunnalla on varmasti ratkaiseva vaikutus onnistumiseen.

Jos kalat voivat olla altaassa pesun ajan, pystytään betoni-verhotut altaat puhdistamaan suhteellisen usein. Tämä edellyttää pesuvesien erillisviemäröintiä.

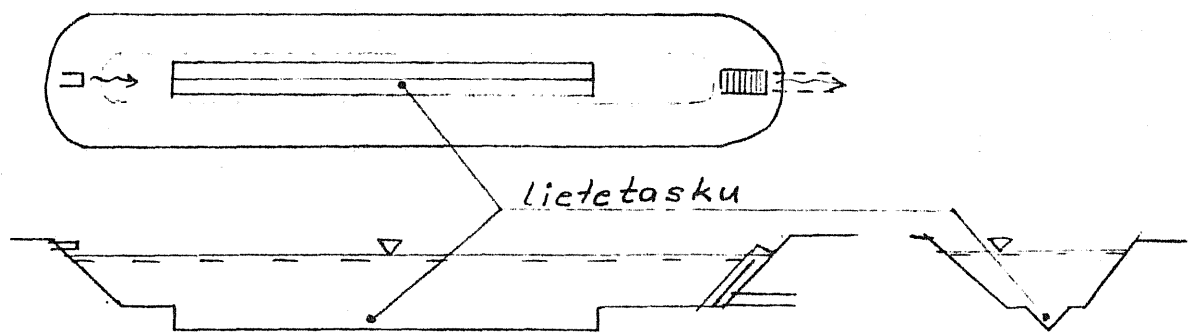
### 8.33 Itsepuhdistuvat altaat

Itsepuhdistuvista allastyypeistä saadaan jäteaine poistumaan virtauksen mukana. Koska altaassa olevat kalat uintiliikkeitä tehdessään edistävät laskeutuneen jäteaineen kulkeutumista virtauksen mukana on vaikeata määritellä sitä rajanopeutta, joka altaassa vaaditaan, jotta se puhdistuisi itsestään. Kun kalat eivät ole vaikuttamassa on havaittu, että jätepartikkelit kulkevat sileällä vaakasuoralla pinnalla virtauksen mukana mikäli virtausnopeus on  $\gtrsim 10$  cm/s.

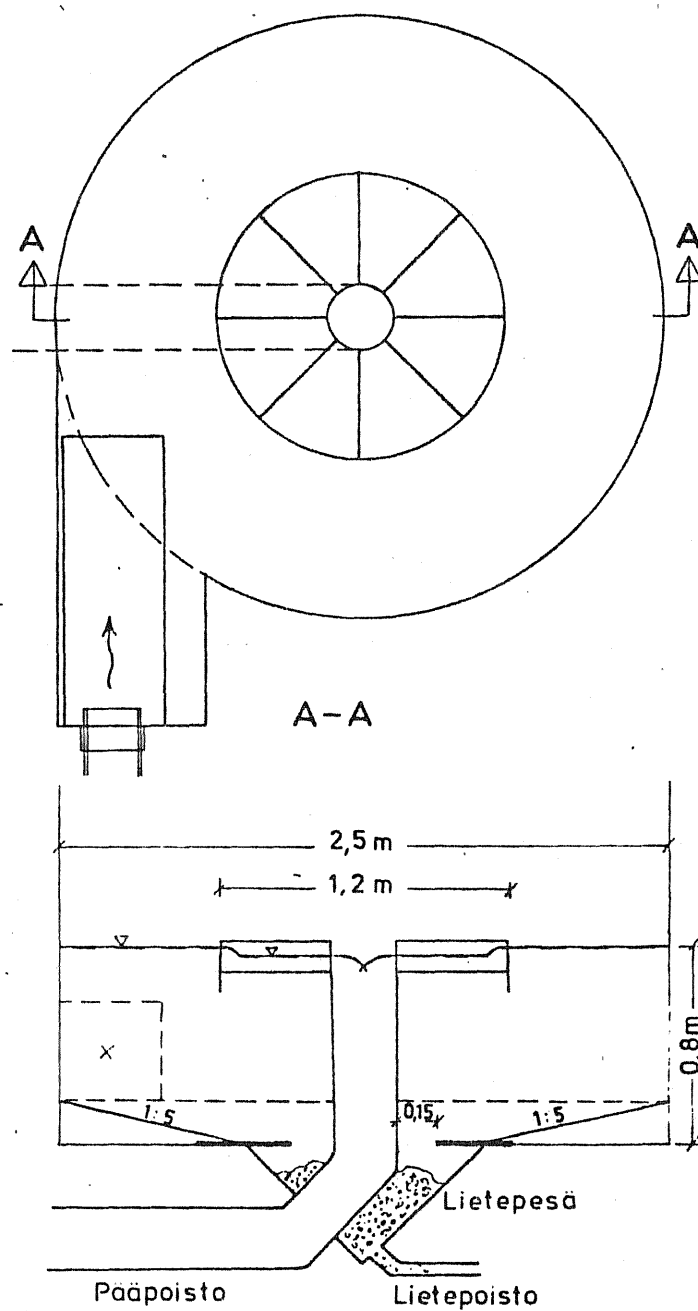
Suurin osa jätepartikkeleista pysyy paikoillaan kun virtausnopeus on  $\lesssim 2-3$  cm/s. Jos kalat uivat lähellä pohjaa, auttavat ne liikkeillään näilläkin nopeuksilla jätepartikkelit liikkeelle sileällä altaan pohjalla.

Itsepuhdistuvista altaista vesi voidaan johtaa laskeutukseen joko altaaseen tai pyörreselkeyttimeen, joiden avulla kiintoaine saadaan keräytyksi jatkokäsittelyyn.

Lähinnä pyöreän allastyypin kehittälyllä on mahdollista yksinkertaistaa puhdistusjärjestelmää.



Kuva 78. Maa-altaan pohjaan rakennettu liettasku.



Kuva 79. Pyörreselkeytin. (Mallitutkimus Laukaan keskuskalanviljelylaitokselle 1981).

### 8.34 Pyörreselkeytys

Viime vuosikymmenellä on kehitetty pääasiassa Yhdysvalloissa ja Englannissa hulevesien kiintoaineen erottamiseen pyörreselkeytin, jota on sovellettu myös kalanviljelyvesien puhdistukseen.

Pyörreselkeytin käsittää pyöreän altaan, johon vesi johdetaan tangentaalisesti pohjalle (kuva 79). Pääosa vedestä poistuu altaan keskellä olevan rengasyliöksen kautta vesistöön ja noin 5 - 10 % virtaamasta johdetaan altaan pohjalta putkella.

Pyörrevirtaus aiheuttaa altaaseen poikittaisvirtauksia, joiden vaikutuksesta laskeutuva kiintoaine keräytyy altaan pohjan keskikohdalle, josta se poistetaan putken kautta.

Kesällä 1981 suoritettiin Laukaan keskuskalanviljelylaitoksella selvityksiä pyörreselkeyttimen soveltuvuudesta kalalaitosvesien käsittelyyn. Samalla tarkasteltiin laitteen mitoituskysymyksiä.

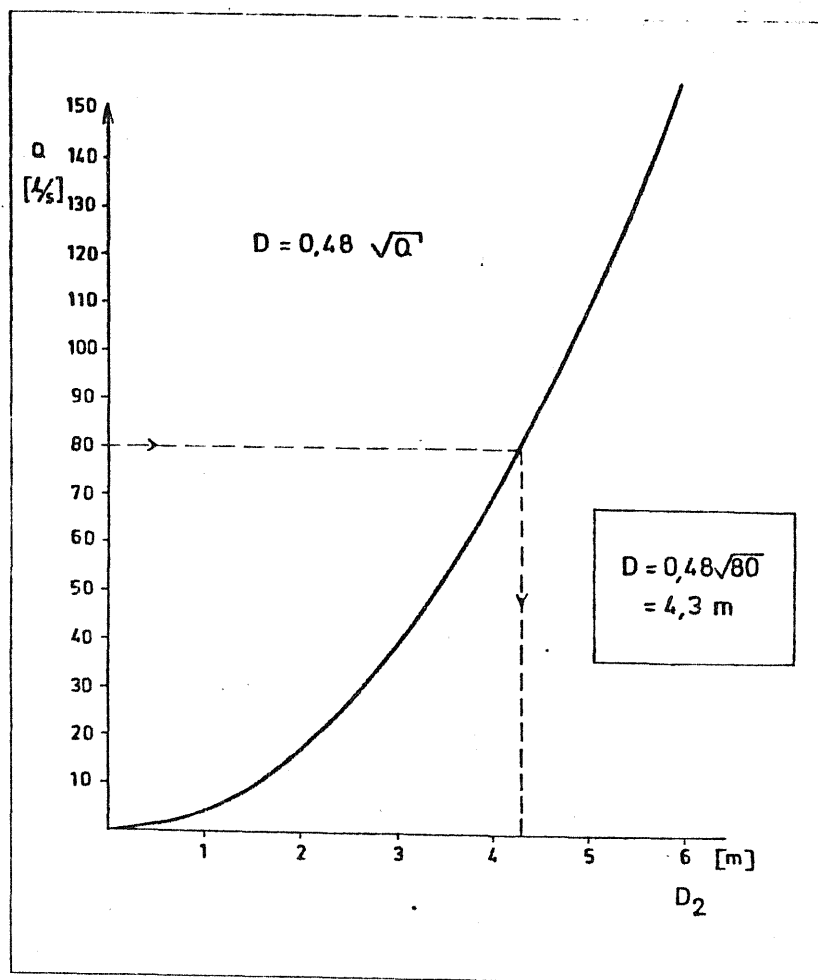
Pyörreselkeyttimen puhdistusteho on hyvä jos jäte saadaan tuoreena selkeyttimeen. Vanhentunut jäte helposti hajoaa ja se on kevyempää kuin tuore. Näin ollen se leijuu vedessä ja laskeutuu vain vaivoin.

Itsepuhdistuvien altaiden yhteydessä pyörreselkeytin toimii hyvin. Sen sijaan maa-allasten yhteyteen se ei sovi.

### 8.35 Pyörreselkeyttimen mitoitus

Laukaan tutkimuksen perusteella selkeyttimen mitoitus voidaan suorittaa seuraavan kuivaajan avulla pintakuormalle 20 m/h (kuva 80). Tällä mitoituksella saatiin kokeessa kiintoainetta talteen n. 67 %.

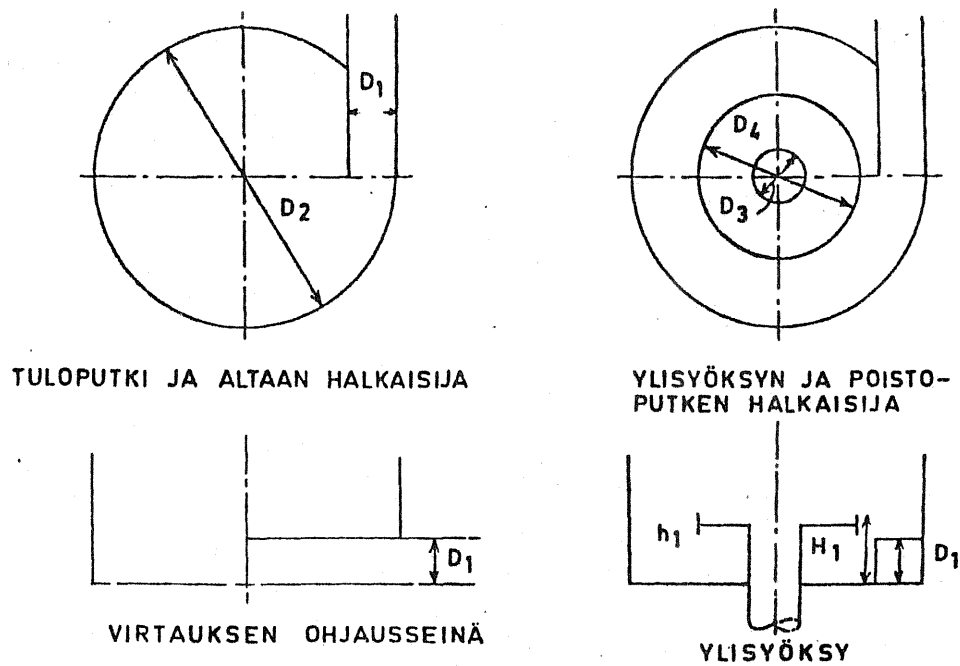




Kuva 80. Pyörreselkeyttimen mitoitus eri virtaamille.

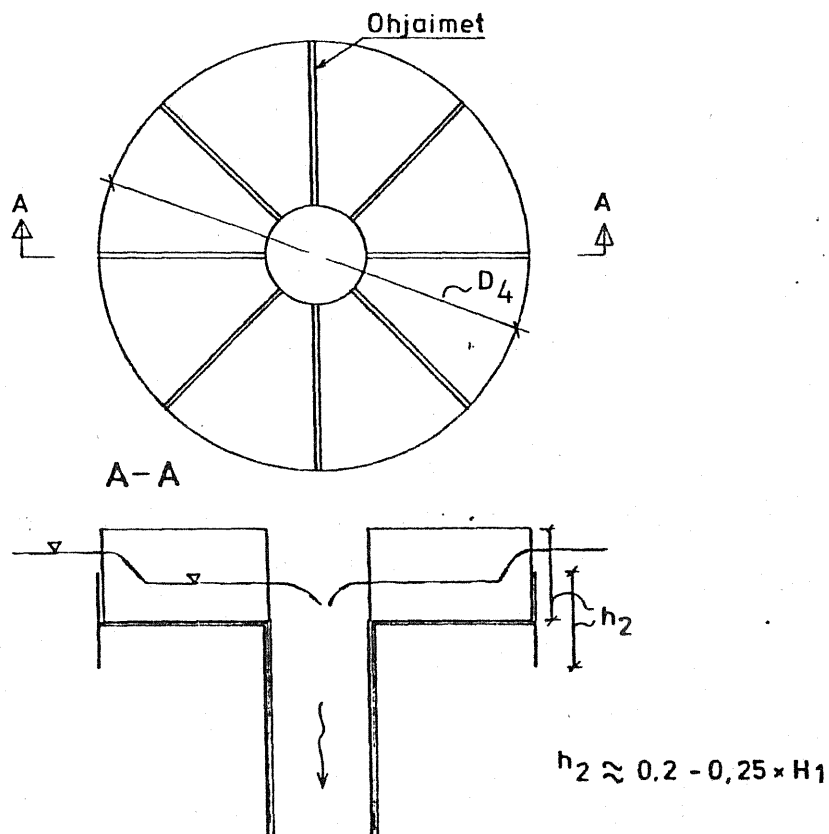
Tuloputkessa virtausnopeus ei saa olla yli 0,15 - 0,20 m/s.

Muilta osin pyörreselkeytin voidaan mitoittaa kuvien 81 ja 82 avulla.



Q	D <sub>1</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	H <sub>1</sub>
10 - 50 l/s	0,18 - 0,2 x D <sub>2</sub>	0,7 - 1,0 x D <sub>1</sub>	0,5 - 0,45 x D <sub>2</sub>	0,3 x D <sub>2</sub>
50 - 150 l/s	0,15 - 0,18 x D <sub>2</sub>	0,7 - 1,0 x D <sub>1</sub>	0,45 - 0,3 x D <sub>2</sub>	0,25 x D <sub>2</sub>

Kuva 81 Selkeyttimen päämitat.



Kuva 82. Ylivuotorakenne.

### 8.36 Selkeyttäminen laskeutusaltaassa

Laskeutusallas käsittää neljä osa-aluetta:

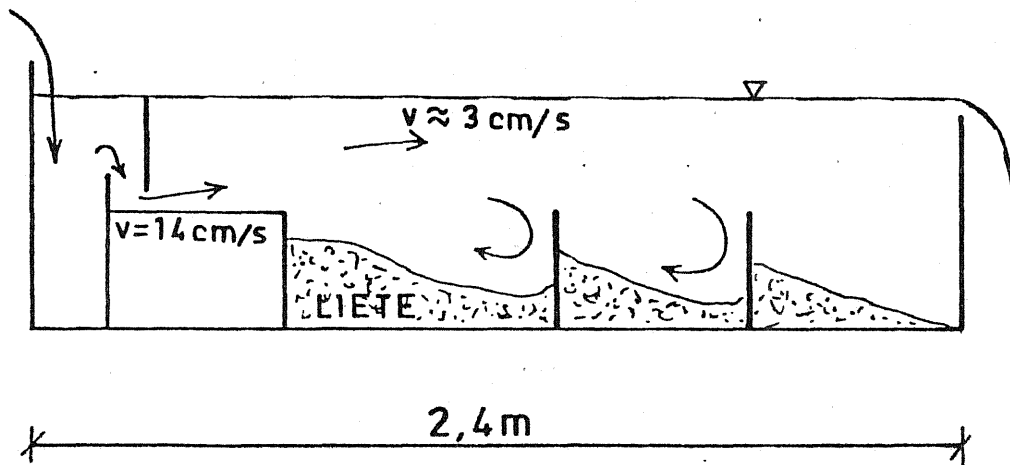
- tuloalue
- selkeytysalue
- lietealue
- poistumisalue

Laskeutusaltaan suunnittelussa tärkein huomio on kiinnitettävä tulo- ja poistumisalueiden suunnitteluun, koska näiden avulla saadaan aikaan tasainen virtaus itse selkeytysalueella.

Suunniteltaessa laskeutusallasta on tunnettava kiintoaineen rakenne ja laskeutumisominaisuudet. Vanhemman lietteen laskeutumisominaisuudet poikkeavat huomattavasti tuoreesta, joten esimerkiksi pesuvesien käsittelyssä tulee sallittavan pintakuorman arvoksi huomattavasti pienempi arvo kuin altaasta tulevan tuoreen jätteen.

Pyörreselkeytintutkimuksen yhteydessä suoritettiin vertailu laskeutusaltaan ja selkeyttimen välillä lähinnä laitteiden pinta-alatarpeen selvittämiseksi (kuva 83).

Tuloalueella virtaus on saatava levitetyksi koko altaan leveydelle tasaisesti. Sen jälkeen virtausnopeus on saatava alenemaan noin 2 - 4 cm/s vaiheille, jolloin laskeutuminen tapahtuu helposti. Lietealue on rauhoitettava siten, että sinne ei synny virtauksia. Poistoalue on oltava tuloalueen levyinen. Laukaan kokeissa saatiin laskeutetuksi kiintoaineesta virtaamalla 1.98 l/s noin 68 % ja virtaamalla 4.46 l/s noin 59 %. Vastaavat pintakuormat ovat noin 4.3 m/h ja 10 m/h. Laskeutunut liete poistetaan määrääjoin ja jatkokäsittelään.



Kuva 83. Laskeutusallas (Mallitutkimus Laukaan keskus-kalanviljelylaitokselle).

## 8.37 Lietteen jatkokäsittely

Lietettä syntyy arvioiden mukaan 0.5 - 1.0 l ruokittua rehukiloa kohden. Tuoreena liete sisältää fosforia noin 30 mg/g kuiva-ainetta.

Kerätty liete on tarkoituksenmukaista käyttää maanparannus-aineena. Selvitykset käyttömahdollisuuksista tulisi käynnistää viipymättä.

## 8.4 Yhteenveto kuormitusongelman teknillisistä ratkaisuvaihtoehtoista

Vaihtoehdot on esitetty kaavamaisesti. Lietetaskumenetelmälle ei voida antaa toistaiseksi puutteellisten havaintojen vuoksi puhdistutehoarviota.

Uusien laitosten suunnittelussa vesiensuojelu on otettava huomioon.

1. - altaat itsepuhdistuvia
  - kiintoaine kerätään pyörreselkeyttimellä tai laskeutus-altaalla.
  - kerätty liete maanparannusaineeksi
  - tehoarvio 70 - 80 % kiintoaineesta.

2. - altaissa lietepesä johon jäte keräytyy
  - pesä tyhjennetään 2 - 3 kertaa/vrk
  - liete maanparannusaineeksi
  - tehoarvio 70 - 80 % kiintoaineesta.

#### Rakennetut laitokset

3. - Lietetaskujen asentaminen
  - tyhjennys vähintään viikon välein
  - itsepuhdistuville altaille pyörreselkeytin
  - liete maanparannusaineeksi.

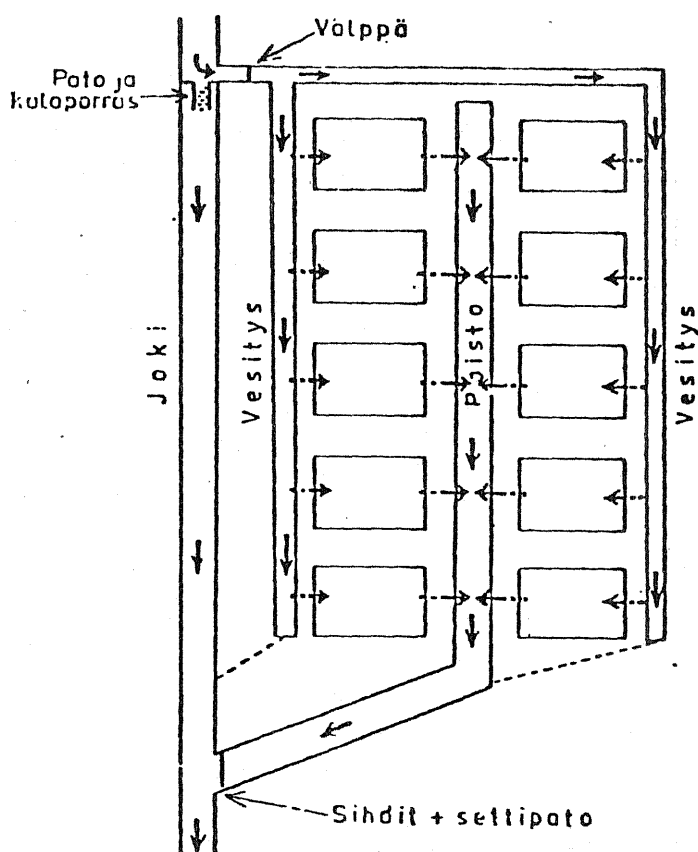
#### 4. Vanhojen laitosten uusiminen kokonaan tai osittain

Verkkoallaslaitosten vesiensuojelumahdollisuudet ovat kaikkein heikoimmat. Jatkossa onkin syytä suunnata tutkimuksia näihin. Eräitä yrityksiä on jo tehty.

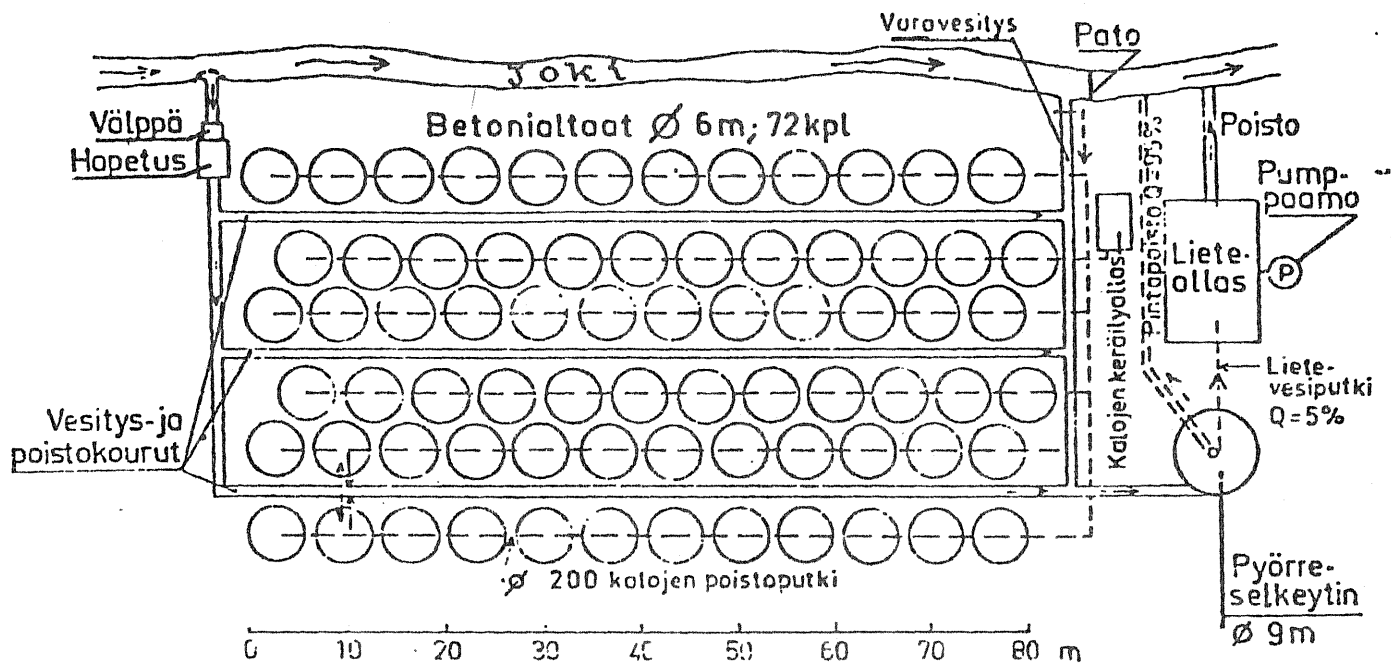
Kiristyneet vesiensuojeluvaatimukset ovat johtaneet Tanskassa siihen, että vanhoja laitoksia on ryhdytty nykyaikaistamaan ja viljelyvesien käsittelyyn on jouduttu kiinnittämään huomiota.

Kuvassa 84 on esitetty klassillisen tanskalaisen jokivesityslaitoksen vesitysperiaate. Vastaavanlaisia laitoksia on Suomessaakin useita. Veden otto ja poisto tapahtuu avouomissa.

Laitoksen vesiä ei käsitellä millään tavalla ja maa-altaiden puhdistus on hankalaa. Tällaisella laitoksella ei pyörreselkeytintä voida käyttää tehokkaasti hyväksi, koska suurin osa kiintoaineesta laskeutuu kala-altaisiin sekä poistouomaan, jossa virtaus on hiljaista. Tämän tyyppisistä maalamikkolaitoksista ollaan Tanskassa luopumassa. Kuvassa 85 on esitetty laitos uudistettuna ja varustettuna pyörreselkeyttimellä.



Kuva 84. Tyypillisen vanhan tanskalaisen kalanviljelylaitoksen vesitysperiaate. Vesitys joesta avouomilla /16/.



Kuva 85. Kuvan 85 mukainen tanskalainen kalanviljelylaitos uudistettuna. Pyöreät itsepuhdistuvat altaat  $d = 6,0$  m. Tulo- ja poistovesitys maanalaisissa betonikouruissa. Viljelyvesien käsittely pyörreselkeyttimellä. Laitoksen tuotanto nykyisessä laajuudessaan noin 100 000 kg/v. Veden käyttö noin 800 - 1500 l/s. Maa-alueen käyttö tuotantoon verrattuna tehokasta (100 000 kg/0,5 ha). /16/.





## Lyhennelmä

Valtion kalanviljelyn päätehtävä on mädin ja istukkaiden tuottaminen kalavesiemme hoitoa varten. Yksityiset viljelijät ovat sen sijaan suuntautuneet lähinnä kirjolohen kasvattamiseen teuraskalaksi. Kirjolohen tuotanto on kasvanut voimakkaasti viime vuosina saavuttaen 4 milj.kg vuosituotannon vuonna 1980. Valtion kalanviljely tulee laajentumaan tällä vuosikymmenellä lähes kolminkertaiseksi.

Vesitysjärjestelmän suunnitteluun vaikuttavat mm. kalojen elintavat, viljelytekniikka, erilaiset kriisitilanteet sekä veden laadulliset ja määrälliset vaihtelut. Tärkein suunnitteluperuste on vedensaannin varmistaminen kaikissa tilanteissa. Valtion kalanviljelylaitoksien vesityksen suunnittelussa noudatetaan seuraavia periaatteita: 1) Jokaiselle altaalle on vesi voitava johtaa kahta tietä, jotta esimerkiksi putkivaurion aikana turvataan altaisiin vähimmäisvirtaama (= 2/3 normaalista). 2) Laitoksen virtaamaa on voitava tarvittaessa kasvattaa vähintään puolitoistakertaiseksi, mikäli esimerkiksi veden lämpötila kohoaa liiaksi ( $>20^{\circ}\text{C}$ ). Mitoitusvirtaamat määritetään näitä periaatteita soveltaen. Mitoituksessa tarvittava hydraulikka on esitetty käytännön laitossuunnittelun edellyttämässä muodossa ja laajuudessa.

Kalanviljely kuormittaa vesistöjä ravinteilla, joiden vähentäminen tulee olemaan toiminnan kasvun edellytyksenä. Kalanrehut sisältävät runsaasti mm. fosforia, joka on yleisesti vesistöisämme biomassantuotantoa rajoittavana tekijänä. Sen lisäksi aiheuttaa rehevöitymistä ja eräin paikoin on todettu vesilain tarkoittamaa pilaantumista. Tässä yhteydessä on johdettu Yhdysvalloissa tehtyyn tutkimukseen perustuen mitoitusmenetelmä uudelle kalanviljelyvesien puhdistamiseen soveltuvalle laitteelle - pyörreselkeyttimelle. Laite käsittää pyöreän altaan, johon aiheutetaan tulovirtauksella veden kiertoliike, joka saa aikaan ns. teekuppi-ilmiönä tunnetun, laskeutuvan kiintoaineen keräytymisen keskelle altaan pohjaa, mistä se voidaan poistaa pienen pohjavirtauksen mukana. Pääosa vedestä (90-95 %) poistetaan

altaan pinnasta rengasyliyksyllä. Laitteen pohjapoiston kautta on Tanskassa onnistuttu parhaimmillaan vähentämään laitok-  
selta vesistöön joutuvaa kiintoaineen määrää 80 %.

## KIRJALLISUUSLUETTELO

1. Brater, E.F. & King, H.W., Handbook of Hydraulics. New York 1976.
2. Brofeldt, P., Evon kalastuskoeasema, Helsinki 1920. Suomen kalatalous, nide 6.
3. Edwards, D.J., Salmon and Trout Farming in Norway. Norwich 1978.
4. Vesihallitus. Teollisuuden vesitilasto 1977 - 1978. Tiedonanto 205.
5. Greenberg, D.B., Forellenzucht. Hamburg 1969.
6. Strandman, A. Kalanviljelylaitoksen paikkaselvitys. Diplomityö HTKK 1981.
7. Hepojoki, A. & Koskelo, J., Viemäriveresimäärien mittarit. Vesitalous 2/1978.
8. Hosia, L., Hydraulikka. RIL 92. Helsinki 1973.
9. Huet, M., Textbook of Fish Culture. Breeding and Cultivation of Fish. Norwich 1979.
10. Kajosaari, E., Kuivakausista Suomen vesistöissä erityisesti vedenhankintaa ja vesiensuojelua silmälläpitäen. Helsinki 1968.
11. Kramer, Chin & Mayo Inc., Salmon Hatchery Study for Pilgrim Station. Washington 1975.
12. Levin, L., Formulaire des Conduites Forcees Oleoducts et Conduits d'Aeration. Paris 1968.
13. Mäkinen, T. Kasvatuskapasiteetin arvioinnista. Suomen lohenkasvattaja 2/1981.

14. Miller, D.S., Neuere Angaben über Strömungsverluste im Rohrleitungssystemen. Wasserwirtschaft 69 (1979) 5.
15. Moisala, E., Kalanviljelyn nykytila. Helsinki 1980. Insinöörijärjestöjen Koulutuskeskus 149 - 80.
16. Mustajärvi, V., Kalanviljelylaitosten vesitys. Helsinki 1980. Insinöörijärjestöjen Koulutuskeskus 149 - 80.
17. Myllymaa, U., Kalanviljelylaitos vesistön kuormittajana. Insinöörijärjestöjen Koulutuskeskus 149 - 80.
18. Niinivaara, K., Alivirtaamien todennäköisestä vaihtelusta Suomessa. Maa ja Vesirakentaja 3. Helsinki 1958.
19. Press. H., Hydromechanik im Wasserbau. Berlin 1966.
20. Press. H., Stauanlagen und Wasserkrafwerke. Teil III Wasserkrafwerke. Berlin 1965.
21. Ratilainen, M., Kalankasvatuslaitosten virtaamansäätö ja mittausohje. Oulu 1975. Oulun vesipiirin vesitoimisto. Moniste.
22. Reiter, P., Itä-Suomen keskuskalanviljelylaitoksen ruokinta-veden ilmastus, Vesihallitus. Tutkimusselostus 1980.
23. Rinne, V., Vesirakentajan virtausoppi. Helsinki 1945.
24. Stephenson, J.P., Trout Farming Manual. Farnham, Surrey, England 1978.
25. Sullivan, R.H. et.al, Relationship between Diameter and Height for the Desing of a Swirl Concentrator as a Combined Sewer Owerflow Regulator. U.S. Environmental Protection Agency, EPA - 670/2 - 74 - 039 July 1974.

26.Sumari, O., Kalojen kaasukuplatauti ja sen torjunta.  
Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen tiedonanto  
11.4.1975 s. 63 - 75.

27.Warrer-Hansen, I., A Note on Wastewater Treatment in the  
Fish Farming Industry. Water Quality Institute, Hørsholm,  
Denmark 1979. Muistio.

28.Valtion maa- ja vesirakennusalan työmenetelmätieto Rek.No:t  
31.43, 31.44, 31.45, 31.46, 31.47. Vesihallitus ja Valtion  
painatuskeskus 1976.

Esitteet:

29.Ewos: Verkkokassiviljely

30.Ewos: Kalanviljelykäsikirja

31.Oy Nokia Ab: Ilmastimet

32.Pauli Isteri Ky: Hydixor ilmastin

33.Kingfisher Tanks Ltd.





